
Le
Système solaire
en activité

LE SYSTÈME SOLAIRE EN ACTIVITÉ : UNE MALLETTE PÉDAGOGIQUE POUR LA PRIMAIRE ET LE COLLÈGE

auteurs du livret et création de la mallette pédagogique :

Caroline Barban
Pacôme Delva
Alain Doressoudiram
Sandrine Guerlet
Juan Quintanilla Del Mar
Noël Robichon

unité formation-enseignement de l'Observatoire de Paris



Conception et réalisation de la couverture : Emmanuel Vergnaud
Version 1.1 (juillet 2009)

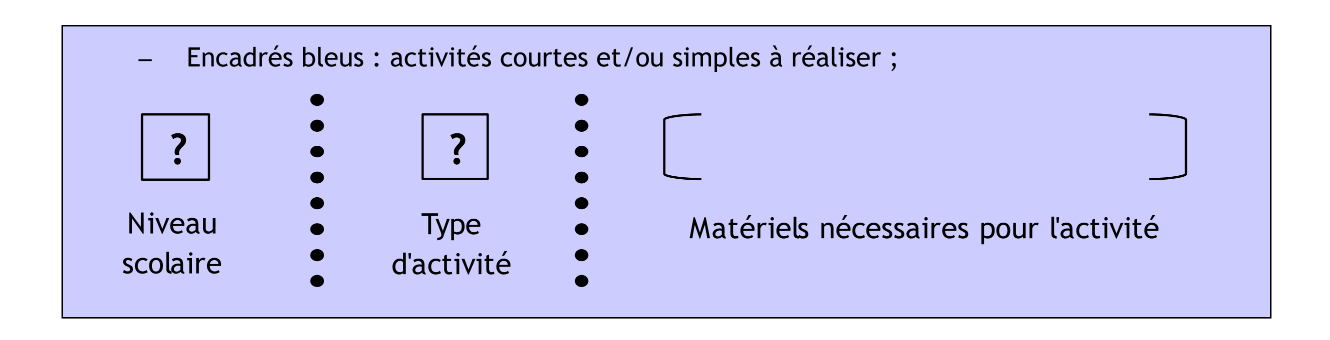
INTRODUCTION / MODE D'EMPLOI

Le ciel, l'univers, les étoiles... ont toujours fasciné leurs contemplateurs, et ce à tout âge. Au delà de cette contemplation, malheureusement, les connaissances fondamentales sur la structure de l'Univers et la nature de ses constituants sont rarement acquises ou enseignées. Pire, beaucoup d'idées fausses circulent dans ce domaine, voire côtoient les mythes cosmogoniques. Or, certaines notions fondamentales peuvent être abordées avec peu de bagage scientifique ou mathématique.

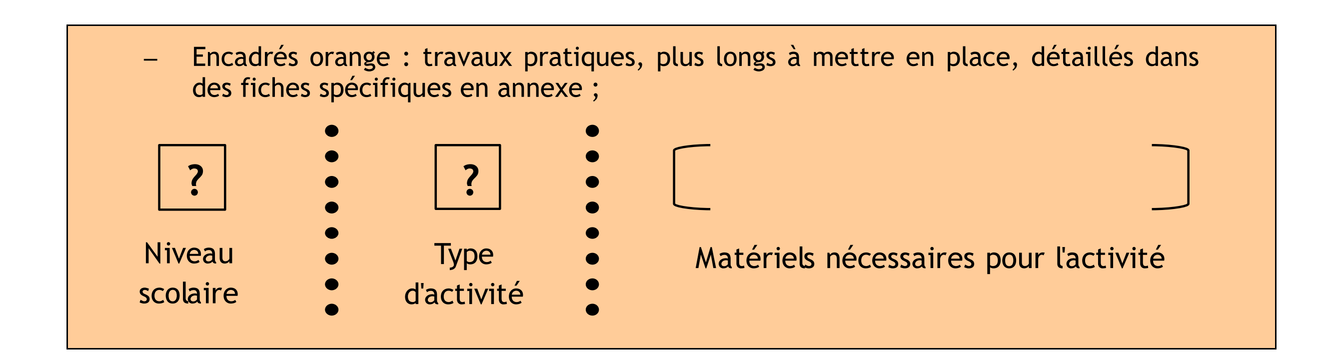
Ce livret propose de partir à la découverte du système solaire, dont la Terre fait partie en tant que planète parmi d'autres gravitant autour de son étoile centrale, le Soleil. C'est l'exploration de notre voisinage « proche » (au sens astronomique, par rapport aux grandes distances qui nous séparent des autres étoiles) que l'on se propose de faire. Les différentes activités proposées vont en permettre l'étude à la fois dans son ensemble, à travers la découverte de sa structure, l'appréhension des échelles de taille, de distance, des mouvements, ainsi que dans ses détails, à travers l'analyse des caractéristiques des différentes planètes, satellites et « petits corps ». L'objectif est que les élèves puissent retenir une vision globale de la structure du système solaire, notamment de la place de la Terre au milieu de ses voisines, ainsi que se rendre compte de la grande diversité des objets qui le composent.

Chaque thème est introduit par quelques pages d'explications sur le sujet traité, destinées aux enseignants qui souhaitent découvrir le sujet ou bien remettre à jour leurs connaissances. Bien entendu, elles ne se veulent pas exhaustives ; pour aller plus loin, nous recommandons notamment les ouvrages en annexe. De plus, vous bénéficiez du suivi d'un « parrain » de l'Observatoire. Il peut vous conseiller, vous épauler dans votre projet, intervenir dans votre classe, etc...

Au sein de chaque partie, des encadrés proposent des activités en rapport avec le chapitre. Il y a un code de couleur et des icônes pour repérer les activités :



– Encadrés orange : travaux pratiques, plus longs à mettre en place, détaillés dans des fiches spécifiques en annexe ;



– Encadrés jaune : projets d'observation, détaillés dans des fiches en annexe. Ceux-ci nécessitent des instruments d'astronomie qui ne sont pas fournis dans la mallette. Pour les réaliser, vous pouvez contacter *Planète Sciences*[1], une association partenaire de l'Observatoire de Paris. Vous aurez accès à divers instruments astronomiques et un suivi de votre projet d'observation grâce à l'intervention d'un animateur scientifique bénévole.



?

Niveau scolaire

Classement par niveau scolaire minimum requis :



Primaire (Cycle 3)



Début collège (6è-5è)



Fin collège (4è-3è)



Pour tous niveaux

Classement par type d'activité :



Activité à l'oral



Activité pratique - expérience

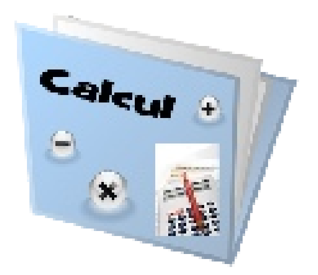


Activité avec recherche bibliographique

1 http://www.planete-sciences.org/astro




Activité avec logiciel



Activité avec calcul

Classement par type de Travaux Pratiques :



Travaux Pratiques avec expérience



Travaux pratiques sans matériel



Travaux pratiques sur informatique

Les activités sont conçues de manière ludique, parfois expérimentales, parfois plus « théoriques », et en relation avec les programmes de mathématiques et de sciences physiques aussi souvent que possible. Les pré-requis, les notions abordées, les objectifs et le déroulement des TPs sont décrits dans ces fiches, qui se veulent modulables ; l'enseignant garde ainsi une grande marge de liberté dans la réalisation des activités.

Retrouvez en annexe un classement des activités et des travaux pratiques selon le niveau scolaire.

CONTENU DE LA MALLETTE

- Ce livret pédagogique ;



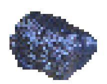
- Les huit planètes à l'échelle et leurs supports ;



- Un ballon jaune de 1 mètre de diamètre ;
- Les neuf (8 + 1 pour le soleil) cubes de densité ;



- Un gonfleur ;
- Un échantillon de météorite ;



- Les 10 fiches plastifiées ;
- Le Planetica ;



- Un planétaire géant et ses accessoires ;
- Divers CD-ROM éducatifs (logiciel Celestia, 1,2,3 Planète, Promenade dans le système solaire) ;







- Des fiches-TP.



- Un kit cadeau (ballons, porte-clés, poster,...) qui vous est offert

Table des matières

Table des Activités

Table des Travaux Pratiques

Table des Observations

1 DESCRIPTION DES OBJETS DU SYSTÈME SOLAIRE

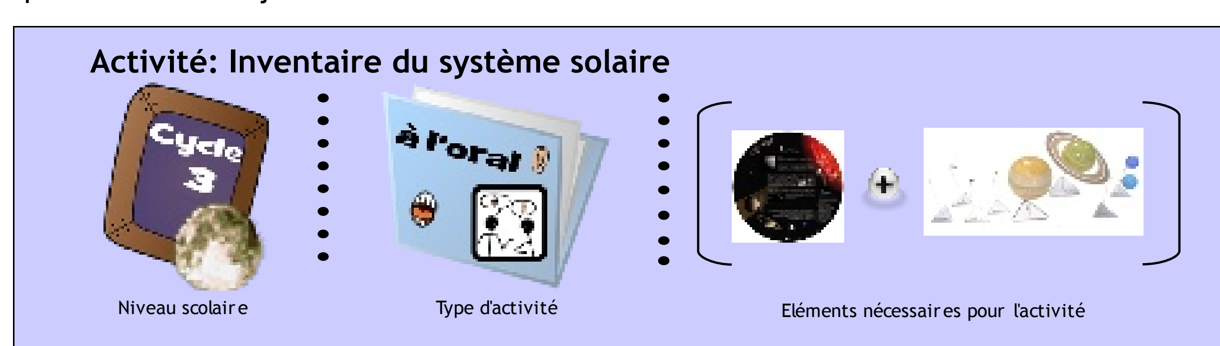
A : Le système solaire, c'est quoi ?

***But** : découvrir la structure du système solaire et les objets qui le composent à travers l'étude de leurs caractéristiques globales.*

Pré-requis : aucun ; leçon introductive.

La définition « scientifique » serait la suivante : le système solaire est l'ensemble du Soleil et des objets soumis à son attraction gravitationnelle, c'est-à-dire gravitant autour de lui. La notion de gravitation n'étant pas abordée avant la fin du collège, cette définition peut être remplacée par : « le Soleil et ce qui tourne autour ». Mais quels sont ces objets ?

Activité: Inventaire du système solaire



Compétences : lecture/écriture, recherche documentaire, classification.

À partir des connaissances des élèves (c'est d'ailleurs un moyen de les sonder), il sera tout d'abord proposé de faire un « inventaire » des objets du système solaire, puis de leur faire trouver des catégories dans lesquelles les classer. Après avoir nommé d'eux-même les planètes, le Soleil, sans doute les comètes et peut-être les astéroïdes, on les fera travailler par groupes pour qu'ils complètent leur classification, par exemple grâce aux fiches descriptives présentes dans la mallette ou bien par recherche bibliographique (internet, ...). Le but est d'aboutir à quelque chose comme :

Catégorie		***Objets***
Étoile		***Le Soleil***
Planètes		***Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune***
Planètes naines		***Pluton, Cerès, Eris***
Leurs Satellites	***Naturels***	***Lune, mais aussi les satellites de Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune...165 en tout !***
	Artificiels	***Satellites de communication, météo, GPS...***

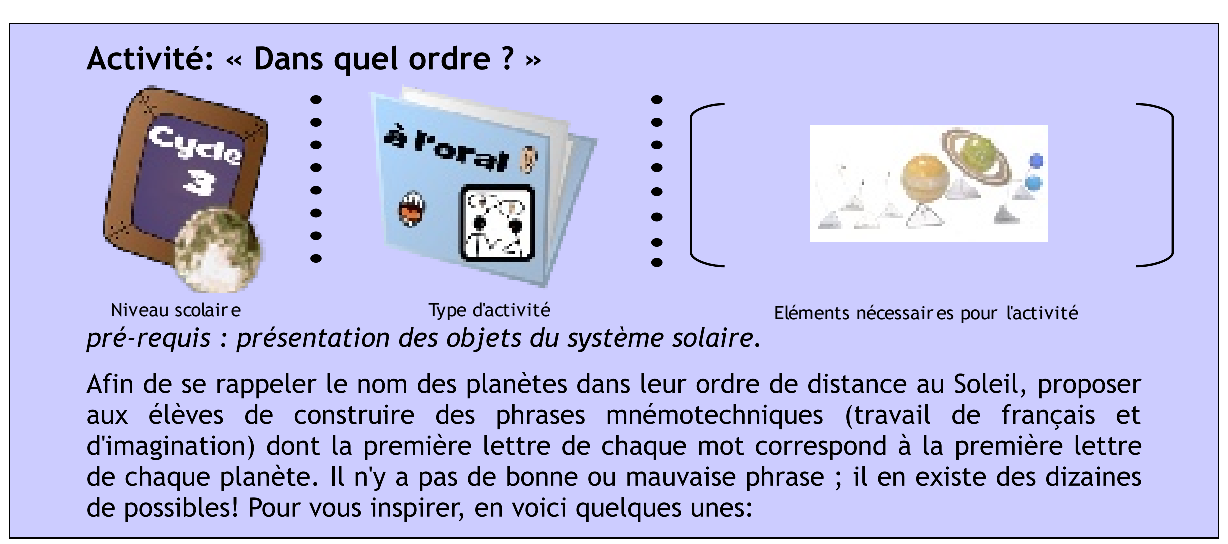
Petits corps	***Astéroïdes, comètes, météoroïdes, poussières...***

Tout ces objets (Soleil compris) se sont formés presque en même temps il y a environ 4,5 milliards d'années. Ils proviennent du même berceau: un gigantesque nuage de gaz et de minuscules poussières. D'abord, le nuage de gaz (principalement composé d'hydrogène et d'hélium) s'est comprimé en son centre sous l'effet de son propre poids, s'échauffant jusqu'à atteindre la température de fusion nucléaire de l'hydrogène, 15 millions de degrés, donnant ainsi naissance au Soleil. La majorité des poussières, quant à elles, se sont condensées, agglomérées en planétésimaux (c'est le phénomène d'accrétion) jusqu'à former les planètes que nous connaissons, par collisions et attraction gravitationnelle mutuelle des planétésimaux.

Les petits corps sont des embryons de planètes : une partie des planétésimaux n'ont pas évolué, soit car les collisions n'étaient plus assez fréquentes, soit parce que la proximité des planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune), créant des perturbations gravitationnelles, les ont éjectés loin du Soleil : c'est le cas des comètes, résidant aux confins du système solaire. Dans le cas où les collisions sont assez fréquentes mais se produisent à une vitesse trop élevée, alors l'impact disperse les corps au lieu de les fusionner: c'est le cas de la ceinture principale d'astéroïdes, située entre Mars et Jupiter, où les collisions entre les nombreux astéroïdes n'ont pas abouti en la formation d'une planète .

Les petits corps sont des objets qui ont subi peu d'altération depuis leur formation (pas d'érosion par une atmosphère ou un océan, pas de resurfaçage par une activité interne, à l'exception des comètes ou astéroïdes les plus massifs). On les qualifie de matière primitive du système solaire. Leur étude nous renseigne sur les conditions initiales (température, densité...) qui prévalaient il y a plus de 4 milliards d'années et sur la composition du nuage initial. Ces informations sont primordiales pour mieux comprendre les mécanismes de formation du système solaire.

Il y a huit planètes dans le système solaire (et non plus neuf, Pluton ayant été reléguée au statut de « planète naine »), ainsi que de nombreux petits corps dont l'origine est variée. Par ordre d'éloignement au Soleil on trouve: Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.



pré-requis : présentation des objets du système solaire.

Afin de se rappeler le nom des planètes dans leur ordre de distance au Soleil, proposer aux élèves de construire des phrases mnémotechniques (travail de français et d'imagination) dont la première lettre de chaque mot correspond à la première lettre de chaque planète. Il n'y a pas de bonne ou mauvaise phrase ; il en existe des dizaines de possibles! Pour vous inspirer, en voici quelques unes:

- « **M**a **V**ieille **T**rompette **M**e **J**oue **S**eulement **U**ne **N**ote »
- « **M**angez **V**os **T**artes, **M**ais **J**uste **S**ur **U**ne **N**appe »
- « **M**e **V**oilà **T**out **M**ouillé, **J**'ai **S**uivi **U**n **N**uage »
- « **M**e **V**oici **T**oute **M**ignonne, **J**e **S**uis **U**ne **N**ébuleuse. »

Variantes:

- Chercher une phrase avec un A pour « astéroïdes » à placer entre Mars et Jupiter, l'emplacement de la ceinture principale, ainsi qu'un C pour « comètes » à placer en dernier.
- Trouver des phrases dans l'ordre inverse d'éloignement au Soleil des planètes.
- Trouver une réponse à une question, par exemple : « Connaissez-vous un bon restaurant sur Jupiter? » « **M**ais **V**ous **T**ombez **M**al, **J**e **S**uis **U**n **N**eptunien! »

Étymologiquement, planète signifie « astre errant ». En effet, les planètes visibles à l'œil nu (toutes sauf Uranus et Neptune) ont été identifiées dans l'antiquité car elles ont la propriété de se déplacer de jour en jour par rapport au fond d'étoiles fixes, pour eux la « sphère céleste ». Ce n'est que bien plus tard que l'on comprit que 1) les étoiles dans le ciel sont en réalité d'autres soleils, comme le nôtre, mais situés bien plus loin, donc apparaissant comme de petits points brillants quasi-fixes pour un observateur terrestre ; 2) ces astres errants sont en réalité d'autres planètes, gravitant également autour du Soleil, et bien plus proches de la Terre que les autres étoiles, ce qui explique leur rapide mouvement apparent.

Quelle est la structure du système solaire, et quels sont les mouvements de ces objets autour du Soleil ? Ces éléments seront développés dans la seconde partie. Néanmoins, quelques points importants sont à savoir et peuvent être introduits dès maintenant : tous ces objets, comme la Terre, tournent/gravitent autour du Soleil, à des distances plus ou moins grandes de celui-ci. La trajectoire qu'ils effectuent est appelée une orbite. Dans le cas des planètes, cette orbite ressemble à un cercle aplati : une ellipse. Une orbite complète autour du Soleil est appelée une révolution, et le temps pour l'effectuer est la période de révolution. Il ne faut pas confondre avec la période de rotation, qui est le temps mis par la planète pour faire un tour sur elle-même.

B : Un peu de planétologie comparée

But *: découvrir les planètes plus en détail, explorer leurs différences et les comprendre. Relier leur aspect, composition, etc... à leurs caractéristiques et à leur « histoire ».*

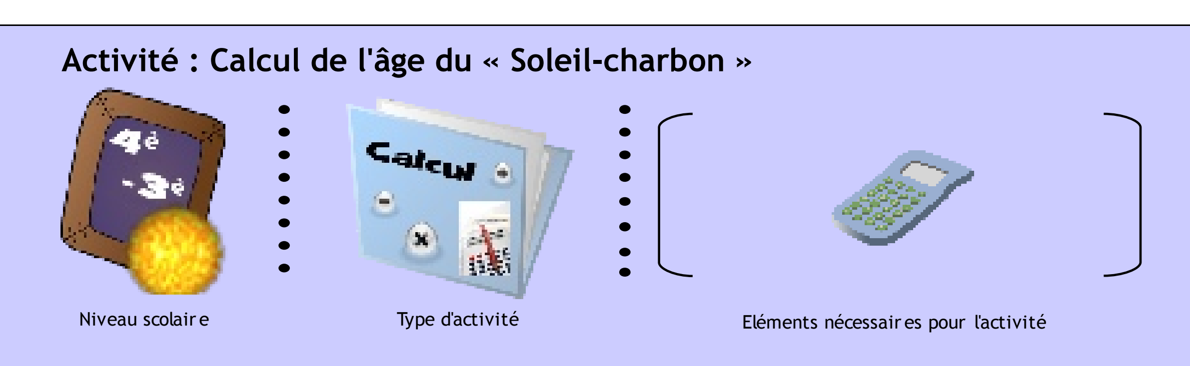
a. La différence étoile-planète

Avant même de se pencher sur les différences entre planètes, on peut se demander quelle est la différence entre une étoile et une planète. Pour y répondre, cherchons ce qui définit une étoile. Réponse : elle produit son énergie, sa propre lumière, tandis

que les planètes réfléchissent la lumière qu'elles reçoivent de leur étoile. Mais quelle est la source d'énergie du Soleil ? Les élèves ont souvent l'idée de la « boule de feu » dans la tête pour représenter le Soleil, qui est une image complètement fausse... Cela peut-être un moyen d'aborder le thème de la combustion (programme de 4ème). La combustion nécessite de l'oxygène. Or, *il n'y a pas d'oxygène dans l'espace*, il est quasiment vide ; le Soleil ne peut pas être de feu ! D'où vient alors l'énergie du Soleil, que l'on reçoit sous forme de lumière et de chaleur?

Jusqu'au tout début du XXème siècle, cette question restait une énigme. La source de combustible la plus répandue alors étant le charbon, on calcula que le « Soleil de charbon » aurait une durée de vie de l'ordre de 6000 ans. Or, on savait déjà à cette époque que la Terre était bien plus vieille, grâce aux études géologiques. D'autres mécanismes plus complexes ont été proposés, comme celui de Kelvin-Helmotz, qui permet de calculer l'énergie dégagée lors de la contraction gravitationnelle du Soleil. Mais là encore, cela donnait une durée de vie de l'ordre de 20 millions d'années au Soleil : ce n'était pas encore assez.

Activité : Calcul de l'âge du « Soleil-charbon »



Pré-requis : la combustion ; les puissances de 10.

Nous sommes au début du XXème siècle et voulons savoir combien de temps pourrait brûler le Soleil s'il était composé de charbon (hypothèse bien entendu fausse). Nous connaissons la masse du Soleil, qui est de $2*10^{30}$ kg et nous savons qu'un kilo de charbon fourni une quantité de chaleur de 35 000 kJ (pouvoir calorifique).

- Quel est le réservoir total d'énergie du Soleil-Charbon? (pouvoir calorifique * masse du soleil donne 7.10^{37} J).
- La luminosité solaire est d'environ 3,5*1026 J/s (traduire: à chaque seconde, le Soleil dépense...) : compte tenu de son réservoir total et de ce qu'il dépense à chaque seconde, combien de secondes le Soleil va-t-il durer ? Et en années ? Qu'en pensez-vous ? (on trouve 2*1011 s soit 6430 ans : le Soleil ne peut pas être fait de charbon !).

Il a fallu attendre les avancées des travaux sur la physique atomique, la radioactivité, les observations de plus en plus précises du spectre solaire et les travaux d'Einstein pour finalement comprendre qu'au centre du Soleil, sous l'effet des 15 millions de degrés, des réactions nucléaires transforment quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium. Or, un noyau d'hélium est légèrement moins massif que quatre noyaux d'hydrogène réunis ; ce déficit de masse, par la relation $E=mc^2$, doit nécessairement se transformer en énergie, rayonnée jusqu'à la surface du Soleil.

Cela montre que la masse est une forme d'énergie, qui peut se transformer en d'autres formes d'énergie. Pour avoir une idée plus concrète, le Soleil perd environ quatre millions de tonnes de matière par seconde, qui se transforment en lumière ! Considérant qu'un dixième de la masse du Soleil subira cette transformation, on aboutit alors à une durée de vie de l'ordre de 10 milliards d'années.



Image du Soleil en lumière visible
Crédit : SOHO (ESA & NASA)

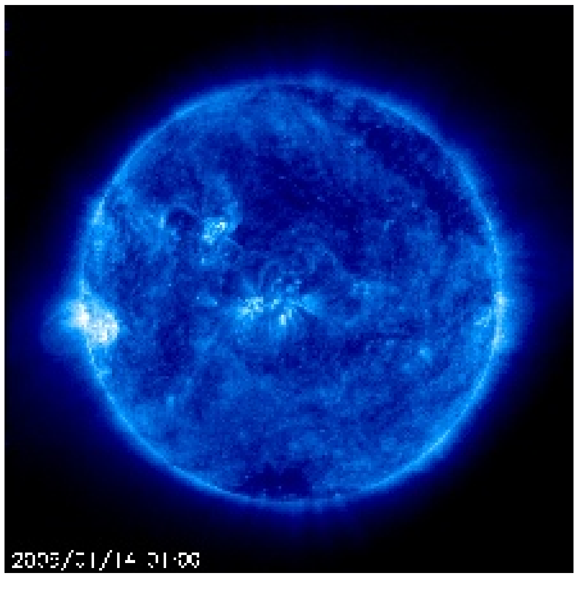


Image du Soleil en lumière ultraviolette
Crédit : SOHO (ESA & NASA)

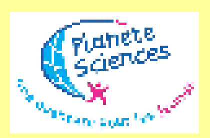
Le Soleil émet dans tout le spectre électromagnétique. Quand on l'observe en lumière visible, on voit des tâches noires à sa surface : les tâches solaires, et des tâches brillantes : les facules. Ces phénomènes sont liés à l'activité du Soleil. Les tâches solaires sont des parties plus froides, environ 4000 degrés contre 6000 degrés en moyenne pour le reste de la surface. Comme l'intensité lumineuse d'un corps augmente avec sa température, ces zones apparaissent plus sombres. Au contraire, les facules sont des zones de température plus élevée que la moyenne.

En lumière ultraviolette, le Soleil a un aspect différent (voir les photos ci-dessus). En effet on observe son atmosphère qui a une température plus élevée que sa surface, pouvant atteindre deux millions de degrés! On voit sur cette photo que les tâches solaires et les facules sont associées à des éjections de matière en forme de boucle. Le nombre de tâches solaires, et donc l'activité solaire, varie de manière cyclique en passant par un maximum en moyenne tous les onze ans.

Observations : Que se passe-t-il à la surface du Soleil ?

Ce projet propose d'observer les tâches solaires et de mesurer leur taille, à l'aide d'un instrument astronomique et d'une webcam. **Attention**, l'observation du Soleil peut être **très dangereuse** si toutes les précautions ne sont pas prises. Il ne faut pas essayer si l'on n'est pas accompagné d'un professionnel.

Dans un deuxième temps, le projet propose de suivre l'évolution des tâches solaires pour déterminer sa période de rotation et son cycle d'activité.

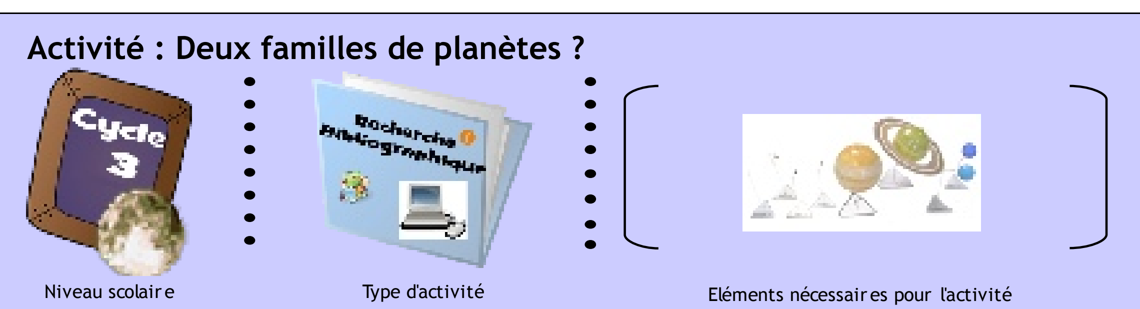




b. Deux types de planètes

Revenons aux planètes. Elles ont leurs caractéristiques propres et sont toutes différentes, mais peut-on les regrouper en catégories ? La réponse est oui. Si on étudie leurs caractéristiques globales de masse, densité, composition, etc... on se rend compte que l'on peut les séparer en deux catégories. Quatre des huit planètes ont la particularité d'être assez denses, composées de matériaux solides (roches, silicates, métaux...), plutôt petites et il se trouve que ce sont les quatre planètes les plus proches du Soleil. A l'inverse, les quatre planètes les plus éloignées sont à la fois les plus massives et les moins denses, ce qui implique qu'elles sont aussi beaucoup plus grosses.

Activité : Deux familles de planètes ?



Compétences : rangement par ordre croissant, recherche bibliographique.

Chaque groupe d'élève reçoit la mission de trier les planètes en fonction d'un certain critère : par distance au Soleil, par taille, masse, densité, température, ou bien un autre critère de leur choix. Ils font une recherche bibliographique pour trouver ces grandeurs (ou peuvent utiliser les panneaux de la mallette), qu'ils notent dans un tableau puis rangent par ordre croissant. Selon le niveau, on adaptera les grandeurs (exemple : remplacer une expression en puissances de 10 par un multiple de la valeur terrestre). Lorsque la température est donnée pour le jour et la nuit, on fera calculer une température moyenne. Chaque groupe présente enfin ses résultats sous la forme d'un tableau commun :

Critère	Classement par ordre croissant
Distance au Soleil	Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune
Taille	Mercure, Mars, Vénus, Terre, Neptune, Uranus, Saturne, Jupiter
Masse	Mercure, Mars, Vénus, Terre, Uranus, Neptune, Saturne, Jupiter

Densité	Saturne, Uranus, Jupiter, Neptune, Mars, Vénus, Mercure, Terre
Température	Uranus, Neptune, Saturne, Jupiter, Mars, Terre, Mercure, Vénus
Autre critère ?	...

Note : pour le critère de distance, les faire réfléchir sur les différentes unités dans lesquels ils ont pu trouver un résultat (km mais aussi l'Unité Astronomique, définie comme la distance Terre-Soleil), qu'ils pourront expliquer à l'ensemble de la classe.

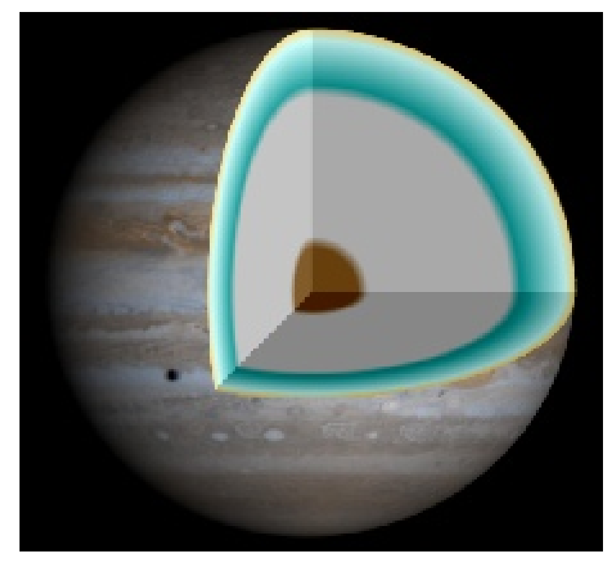
Les faire conclure : les quatre planètes les plus proches du Soleil sont aussi les plus petites, les moins massives, les plus denses et les plus chaudes ; puisqu'elles partagent caractéristiques similaires, on peut les regrouper en une catégorie. Les quatre planètes suivantes forment une autre catégorie.

En plus de cette analyse qualitative, les élèves pourront analyser les valeurs chiffrées de ces différents paramètres afin de séparer au mieux deux catégories distinctes, en introduisant la notion d'ordre de grandeur (principalement pour la taille et la masse).

Bilan et terminologie: On peut séparer les huit planètes en quatre planètes **telluriques** (Mercure, Vénus, la Terre et Mars), et quatre planètes géantes **gazeuses** (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune).

Le mot tellurique vient du latin *tellus*, qui signifie la terre : en effet, ces quatre planètes sont constituées, comme la Terre, d'un noyau, d'un manteau et d'une croûte; autrement dit principalement de matériau solide : on peut marcher dessus ! À part Mercure, ces planètes sont également entourées d'une fine couche de gaz, que l'on appelle l'**atmosphère**, sans quoi (sur Terre) nous ne pourrions respirer.

À l'opposé, les planètes géantes gazeuses ont bien un petit noyau solide, mais sont majoritairement composées de gaz, ce qui explique leur très faible densité. Elles n'ont pas de surface à proprement parler, mais à mesure que l'on se rapproche du centre, la pression devient de plus importante jusqu'à atteindre des millions de bar ! (1 bar est la pression à la surface de la Terre). Ces conditions de pression n'étant pas reproductibles en laboratoire, on ne sait pas sous quelle forme est la matière au sein des planètes géantes. On suppose que le gaz subit diverses transitions de phase : de l'état gazeux dans la partie externe de la planète (la seule directement accessible à l'observation), à l'état liquide plus en profondeur, enfin à l'état métallique, où les électrons sont séparés du noyau sous la pression et circulent librement (voir image ci-dessous).



Structure interne d'une géante gazeuse (ici Jupiter): Noyau (roches, fer) entouré d'hydrogène sous forme métallique, puis liquide, puis gazeux.

Crédits: NASA



Structure interne d'une planète tellurique (ici Vénus): Noyau, manteau, croûte, entouré d'une fine couche d'atmosphère.

Crédits: Calvin J. Hamilton

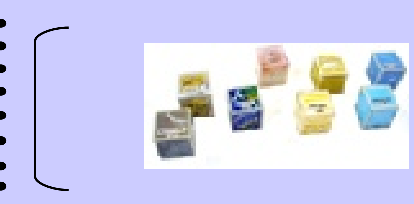
Activité : Densités à l'aide des cubes de la mallette



Niveau scolaire



Type d'activité



Eléments nécessaires pour l'activité

Cette notion est critique pour la classification et caractérisation des planètes, mais est souvent mal maîtrisée par les élèves.

Au primaire (approche qualitative)

Faire soupeser les cubes et remarquer que pour la même taille de cube, les masses sont différentes. Éléments d'explication pour la densité: pour qu'un cube soit plus lourd qu'un autre, on a du faire rentrer plus de matière dedans, elle est plus condensée. Comparer les cubes qui ont l'air les plus lourds avec les valeurs de densité fournies. Relier les différentes densités au différentes planètes ; un cube de Jupiter ou Saturne est très léger, mai la planète étant très grosse, en tout, elle est plus massive que la Terre qui est pourtant plus dense !

Au collège (approche physique)

Avoir dans un premier temps la même approche qualitative. Pour aller plus loin, faire peser les différents cubes avec une balance. Calculer le volume d'un de ces cubes (4cm de côté) et peser ce même volume d'eau.

Diviser les masses des cubes par la masse du cube d'eau ; comparer avec les valeurs de densité fournies. En déduire une définition de la densité = masse d'un cube (masse volumique) divisée par la masse du même volume d'eau. Par définition, la densité de l'eau vaut la masse d'un cube d'eau / la masse d'un cube d'eau = 1 !

Faire le test de plonger les cubes dans l'eau, observer: lesquels coulent ou flottent? Les

plus denses que l'eau coulent ; les moins denses flottent. Remarque : Saturne, la planète la moins dense, flotterait dans l'eau.

Autre remarque : Jupiter et le Soleil ont les mêmes densités ; comment peut-on l'expliquer ? Ils sont composés des mêmes éléments, hydrogène et hélium en majorité.

Les deux classes de planètes résultent de deux mécanismes de formation différents, détaillés dans le deuxième chapitre. Le principe de base est que dans le nuage de gaz et de poussières qui a formé le système solaire, la température décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre où se forme le Soleil, source de chaleur. Près du Soleil, les températures sont telles que seuls subsistent les éléments les plus réfractaires (ayant des températures de fusion les plus élevées) comme les métaux et les roches, les autres éléments étant vaporisés puis soufflés par le vent solaire. Au delà d'une certaine distance, la température est assez basse pour que les glaces d'eau, de méthane ou encore d'ammoniac puissent condenser. Cela fournit beaucoup plus de matériau solide (roches + métaux + glaces) pour constituer la base des cœurs planétaires. Ces cœurs planétaires plus massifs vont pouvoir accréter efficacement le gaz environnant de la nébuleuse primitive, ce qui explique que la densité de Jupiter soit très proche de la densité solaire.

L'atmosphère des planètes gazeuses est dite *primaire*, car elle est directement issue de l'accrétion du gaz de la nébuleuse, tandis que l'atmosphère des planètes telluriques est dite *secondaire*. En effet, ces dernières n'étant pas assez massives pour accréter l'hydrogène et l'hélium du nuage primitif (gaz très légers, s'échappant facilement), leur atmosphère s'est formée ultérieurement, par volcanisme ou bien dégazage d'éléments légers piégés en profondeur. Durant les premières phases de la formation du système solaire, les fréquents impacts de comètes, composées de glaces, ont également contribué à l'apport d'éléments légers, dont l'eau.

c. Les planètes telluriques

Nous allons ici décrire un peu plus en détails les quatre planètes telluriques et leurs principales caractéristiques.

Mercure, la planète la plus proche du Soleil, est un corps composé à environ 70 % de métaux et 30 % de silicates. Elle apparaît recouverte de cratères : cela est dû à l'impact de nombreux planétésimaux. Le fait que l'on voit toujours ces traces de cratères nous informe que la surface est vieille et n'a subi que peu d'altération depuis cette époque ; notamment, cela traduit une absence ou une très faible activité interne. En outre, l'absence d'atmosphère fait que même les plus petits astéroïdes vont heurter la surface en formant un cratère, alors que sur Terre par exemple, les astéroïdes plus petits qu'une cinquantaine de centimètres sont vaporisés par friction avec l'atmosphère avant de toucher le sol.

Mercure n'a donc pas d'atmosphère car elle est trop peu massive pour en retenir une ; elle possède néanmoins une exosphère composée d'éléments du vent solaire,

d'atomes de la surface ionisés par le vent solaire, ou d'atomes arrachés par impacts de micro-météorites. On parle d'exosphère car ce mélange gazeux n'est pas stable et s'échappe en continu.

L'absence d'atmosphère sur Mercure a une autre conséquence : le jour, la surface exposée aux rayonnements solaires très énergétiques est rapidement chauffée jusqu'à atteindre 430°C. La nuit, dès que la surface n'est plus illuminée par le soleil, elle se refroidit rapidement jusqu'à atteindre -180°C ! Cette différence énorme de 600° entre jour et nuit serait très amoindrie en présence d'une atmosphère qui régulerait et redistribuerait la chaleur.

Mercure a été peu explorée et est encore peu connue. Une seule sonde, Mariner 10, l'a survolée entre 1974 et 1975. La mission Messenger, lancée en 2004, sera en orbite autour de Mercure en 2011 et apportera de nouvelles connaissances sur cette planète. Le lancement de Bepi-Colombo, une autre sonde issue d'une coopération européano-japonaise, est prévu pour 2014.

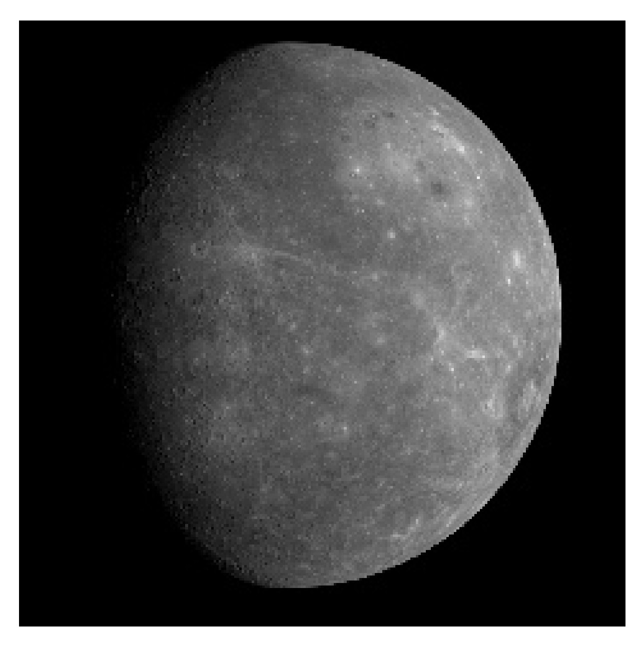


Image de Mercure prise par la sonde Messenger en 2008.

Crédits: NASA

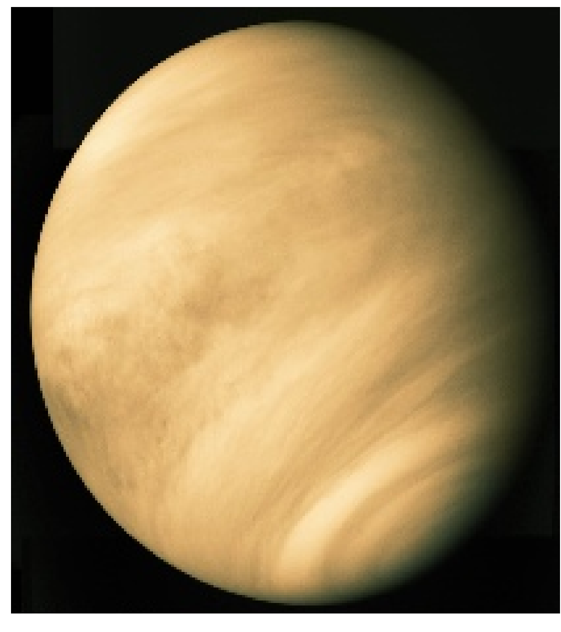


Image de Vénus prise dans l'ultraviolet par la sonde Pioneer, révélant sa structure nuageuse.

Crédits: NASA

Le cas inverse extrême se produit sur **Vénus** : cette planète a la particularité de posséder une très épaisse atmosphère composée à 96 % de dioxyde de carbone (CO_2), ce qui entraîne un très fort effet de serre. Ceci explique que la température moyenne vénusienne de 460°C dépasse celle de Mercure, bien que Vénus soit située presque deux fois plus loin du Soleil. Cette épaisse atmosphère empêche même de voir la surface de Vénus aux longueurs d'onde visibles ou ultraviolets (voir image ci-dessus). Cependant, des images de la surface ont été obtenues par

imagerie radar. Elles révèlent des volcans et peu de traces de cratères, signe d'une surface relativement jeune. La planète présente donc une activité interne récente, peut-être même encore actuelle, dont témoignent les composés soufrés présents dans l'atmosphère (du dioxyde de soufre SO_2 et de l'acide sulfurique dans les nuages), sans doute d'origine volcanique. La forte pression de près de 90 fois celle de l'atmosphère terrestre écrase le paysage et les montagnes apparaissent aplaties.

Une autre caractéristique de Vénus est qu'elle effectue une rotation très lente et dans le sens inverse (rétrograde) de son sens de révolution (prograde, comme toutes les planètes). Un jour sidéral de Vénus (sa rotation par rapport à un repère fixe d'étoiles lointaines et non un jour solaire) est ainsi plus long qu'une année vénusienne !

Vénus est souvent qualifiée de sœur jumelle de la Terre, car ces deux planètes ont des tailles et des masses comparables. Mais les similarités s'arrêtent là ! On a d'ailleurs longtemps cru, avant que les missions d'exploration spatiales ne révèlent des conditions inhospitalières, qu'il pouvait y avoir des océans, voire même de la vie sur Vénus. Les auteurs de science-fiction s'y sont donné à cœur joie durant les années 1950 (citons le roman « Lucky Starr, les Océans de Vénus » d'Isaac Asimov).

La **Terre**, notre planète bleue, est elle la seule connue à ce jour à... abriter la vie ! En effet, elle n'est située ni trop près, ni trop loin du Soleil, de sorte que la température à sa surface – en moyenne 15°C – est favorable à la présence d'eau à l'état liquide : un peu plus des deux tiers de sa surface est couverte par des océans et des mers. En réalité, sans atmosphère, la température moyenne terrestre serait d'environ -18°C. La Terre serait alors couverte de glace, et la vie, qui est apparue dans les océans, n'aurait pas pu se développer. Heureusement, l'atmosphère produit un effet de serre naturel qui augmente sa température moyenne.

L'oxygène que nous respirons n'a pas toujours été présent. L'atmosphère primitive était principalement constituée de dioxyde de carbone (CO_2), comme celles de Vénus et Mars, mais l'apparition de végétaux et la photosynthèse ont conduit à une forte concentration de dioxygène (O_2). En parallèle, alors que les océans recouvraient petit à petit la planète, le CO_2 a été piégé au fond de ces derniers sous forme de carbonates. Ceci explique la composition de l'atmosphère, pour 20% de O_2 , 79% de diazote (N_2), et de quelques traces de CO_2.

Une autre caractéristique de l'atmosphère terrestre est la couche d'ozone qui absorbe en grande partie les rayons ultraviolets solaires les plus nocifs qui, s'ils parvenaient jusqu'à la surface, altéreraient notamment les molécules comme l'ADN. Cet équilibre de l'atmosphère (CO_2, ozone...) est très fragile, et l'impact de l'activité humaine sur la composition atmosphérique pourrait avoir des conséquences graves et irréversibles. En un siècle, depuis la révolution industrielle, la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère a presque doublée. L'effet de serre est donc plus important et un réchauffement climatique est observé.

La surface de la Terre, à travers son paysage contrasté de plaines, de montagnes et de volcans, révèle une intense activité interne. Les plaques tectoniques à la surface de la Terre sont portées par les mouvements du manteau, formé de roches en fusion, ou magma. À la frontière des zones de divergence entre plaques a lieu un

volcanisme actif, tandis qu'à la frontière d'une zone de collision se forment les montagnes (ex: la chaîne de l'Himalaya).

Enfin, la Terre possède un satellite naturel, la Lune. Les mouvements et les positions relatives de la Terre, de la Lune et du Soleil résultent en divers phénomènes observables comme les phases de la Lune ou encore les éclipses. Ceci fera l'objet d'une autre mallette à part entière.



La Terre vue par la sonde Apollo 17, alors en route vers la Lune.

Crédits: NASA



La planète Mars vue par Hubble. On peut y voire les calottes polaires.

Crédits: Nasa, ESA

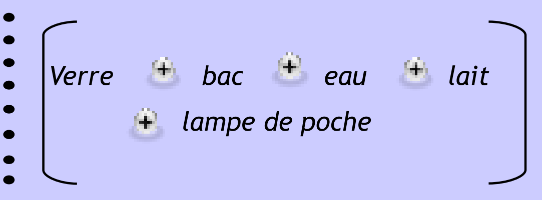




Niveau scolaire



Type d'activité



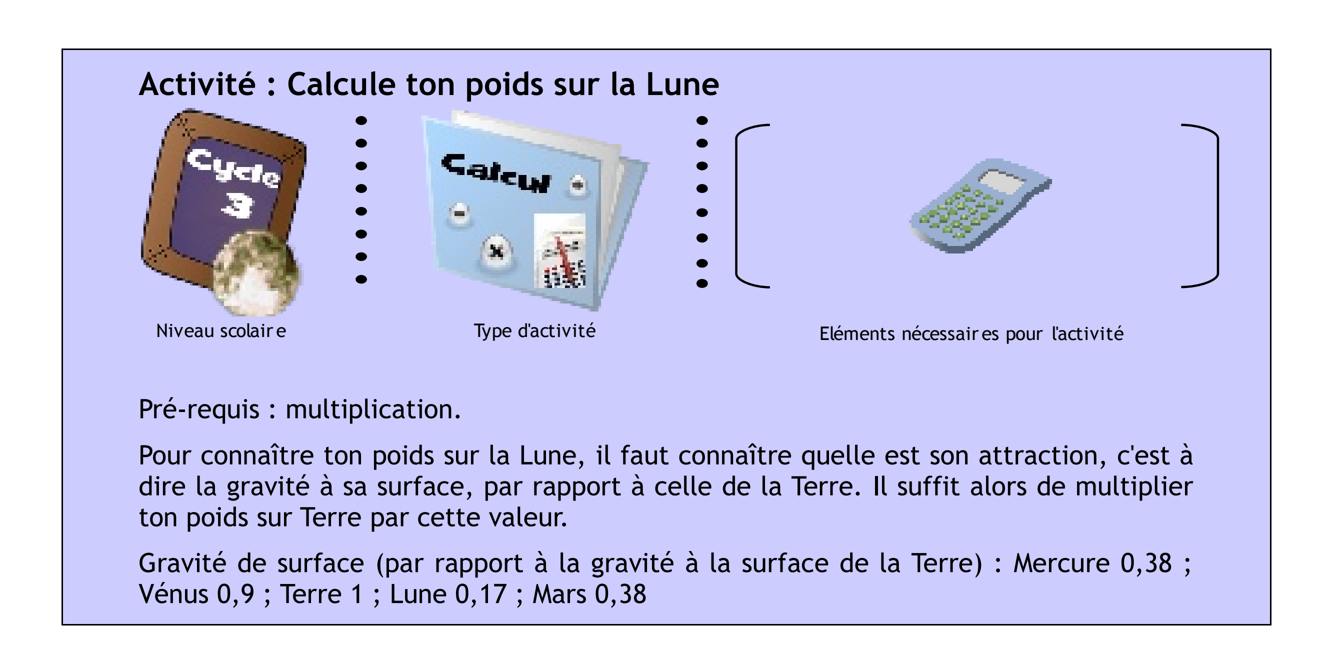
Eléments nécessaires pour l'activité

Remplir un verre d'eau froide et laisser le reposer. On peut vérifier dans le noir, si on l'éclaire avec une lampe de poche, que l'eau est bien claire. Verser quelques gouttes de lait dans le verre. En éclairant le verre avec la lampe de poche on voit que les gouttes de lait sont bleuâtres. Maintenant, si on mélange l'eau, alors tout le contenu du verre paraît bleuâtre quand on l'éclaire avec la lampe.

Les petites particules de lait diffusent la lumière bleue dans le verre, comme les molécules contenues dans notre atmosphère diffusent la lumière bleue dans le ciel. Le même phénomène expliquent les levers et couchers de Soleil : lorsque le Soleil est bas sur l'horizon, sa lumière traverse beaucoup d'atmosphère et « beaucoup de bleu »est diffusé ; la lumière apparaît alors de couleur rouge.

Pour faire l'expérience, il faut un long bac transparent, que l'on remplit comme le verre d'eau mélangée à un peu de lait. En plaçant la lampe à une extrémité du bac, on voit alors une lumière rougie à l'autre extrémité.

Activité : Calcule ton poids sur la Lune



Pré-requis : multiplication.

Pour connaître ton poids sur la Lune, il faut connaître quelle est son attraction, c'est à dire la gravité à sa surface, par rapport à celle de la Terre. Il suffit alors de multiplier ton poids sur Terre par cette valeur.

Gravité de surface (par rapport à la gravité à la surface de la Terre) : Mercure 0,38 ; Vénus 0,9 ; Terre 1 ; Lune 0,17 ; Mars 0,38

Mars a été nommée ainsi en référence au dieu de la guerre (dans la mythologie gréco-romaine), à cause de la couleur rouge-orangée de sa surface qui rappelait la couleur du sang. Cette couleur lui vient de sa composition : la surface est recouverte d'une fine couche de poussières contenant du fer qui, en contact avec l'air, s'oxyde et devient rougeâtre (il « rouille »). Comme pour Vénus, les auteurs de science-fiction se sont emparés de l'image mystérieuse de la planète pour y imaginer une vie extraterrestre. Or l'atmosphère de Mars, très ténue, est constituée à 95 % de dioxyde de carbone (CO_2), et la pression à la surface est cent fois moindre que la pression atmosphérique terrestre. En outre, la température moyenne est de -46°C. Ces conditions excluent l'existence d'eau à l'état liquide sur Mars, nécessaire à la vie telle que nous la connaissons. L'eau existe toutefois sous forme de vapeur d'eau et de cristaux de glace dans l'atmosphère ainsi qu'en grande quantité dans les calottes polaires (voir photo ci-dessus). De l'eau liquide a toutefois certainement coulé par le passé, lorsque l'atmosphère était plus dense et la température plus élevée. On en observe aujourd'hui les traces à travers les indices d'érosion et la découverte de certains minéraux ; mais cela reste à confirmer. Les calottes polaires sont également constituées de glace de CO_2. Lorsque le flux solaire sur ces calottes augmente (Mars, comme la Terre, subit un cycle saisonnier dû à l'inclinaison de son axe orbital), ce CO_2 est sublimé, ce qui crée de grandes variations de pression dans l'atmosphère. Des vent violents peuvent avoir lieu, qui ont pour conséquence des tempêtes de poussières allant jusqu'à couvrir la surface entière de la planète!

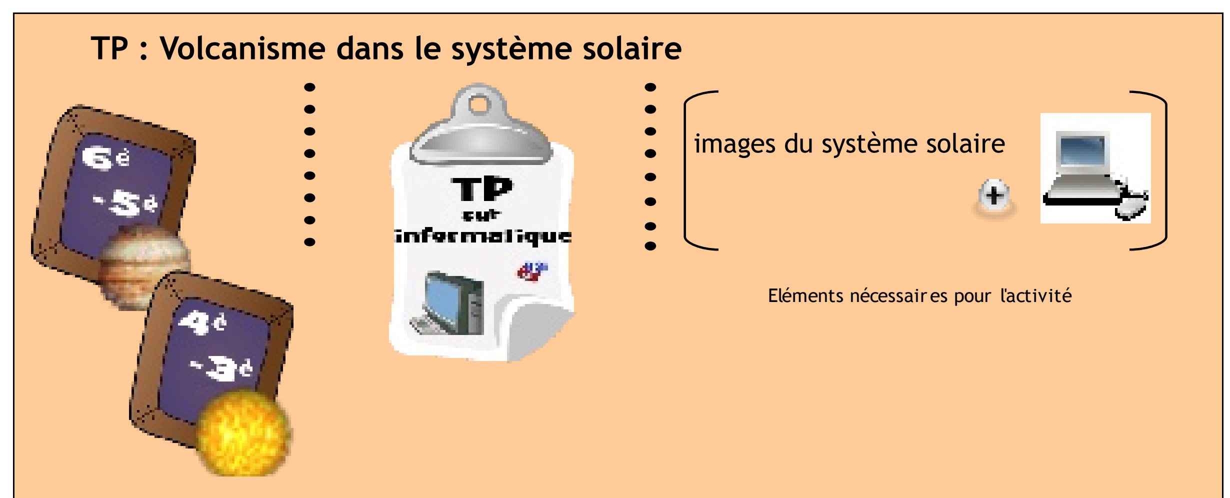
Le plus grand volcan du système solaire est observé sur Mars (Olympus Mons) mais il est aujourd'hui inactif, comme le reste de la planète. En effet, l'activité d'une planète est liée à son réservoir d'énergie interne, principalement due à ses éléments

radioactifs. Mars ayant une masse assez faible, la planète a déjà épuisé presque toute sa source de radioactivité.

Enfin, Mars possède deux satellites naturels : Phobos et Deimos (la panique et la terreur en Grec, respectivement, qui accompagnent le dieu de la guerre durant ses batailles). On pense qu'il s'agit de deux astéroïdes capturés par la planète.

Voici quelques activités en rapport avec les planètes telluriques :

TP : Volcanisme dans le système solaire

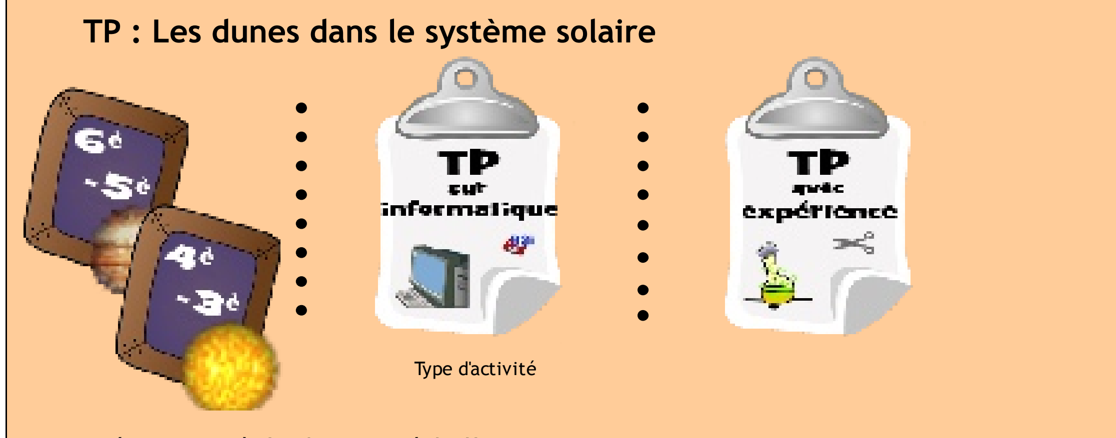


Pré-requis : règle de trois, échelles, notions sur les volcans, l'outil informatique.

Ce TP utilise le traitement numérique des images afin de calculer des dimensions de différents volcans du système solaire (sur Mars, des satellites de Saturne et de Jupiter).

Notes : Ce TP est adapté à la sixième pour aborder la proportionnalité et s'acquitter du B2i. Le volcanisme est au programme de SVT de 4ème.

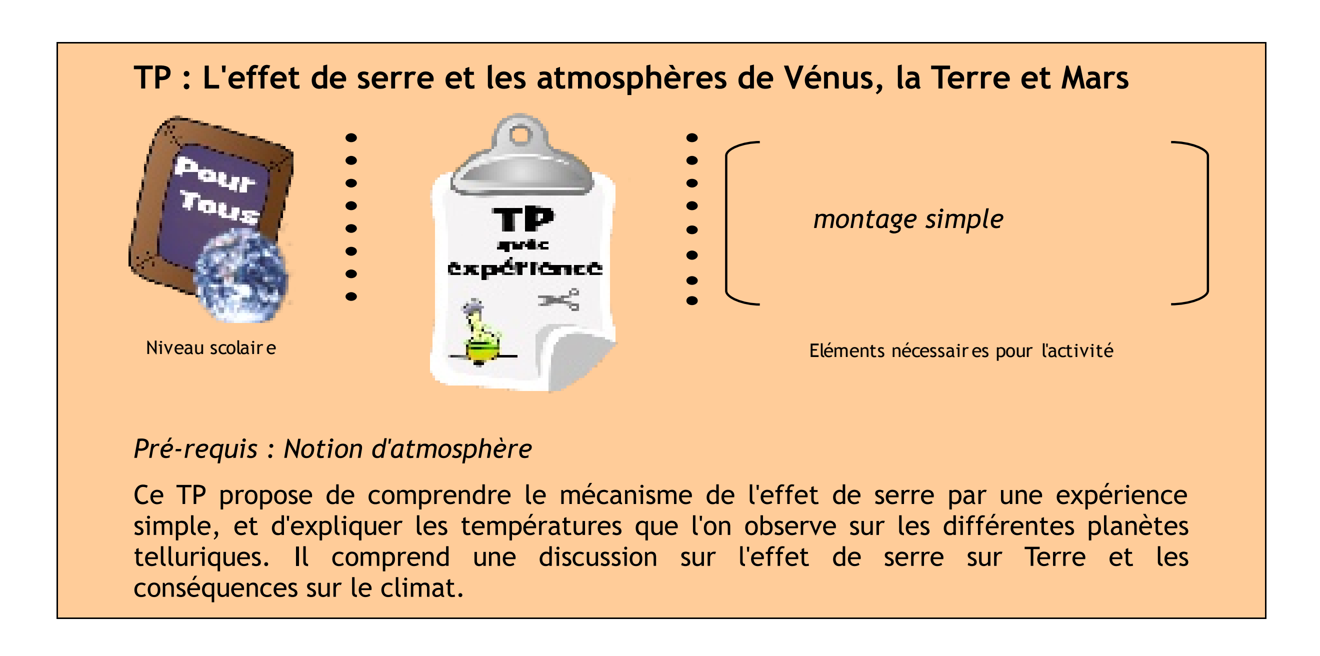
TP : Les dunes dans le système solaire



Pré-requis: règle de trois, échelles.

Ce TP est séparé en deux parties indépendantes. Une première partie utilise le traitement d'images numériques (suivant le même principe que l'activité ci-dessus) afin de mesurer les tailles caractéristiques de dunes terrestres (désert de Namibie), de dunes sur Mars et enfin sur Titan, un satellite de Saturne. On remarquera également

que les dunes peuvent être de différentes formes, issues de processus de formation différents. La seconde partie est expérimentale et propose un montage afin de reproduire le type de dune le plus fréquemment rencontré: les barchanes.



TP : L'effet de serre et les atmosphères de Vénus, la Terre et Mars

Pré-requis : Notion d'atmosphère

Ce TP propose de comprendre le mécanisme de l'effet de serre par une expérience simple, et d'expliquer les températures que l'on observe sur les différentes planètes telluriques. Il comprend une discussion sur l'effet de serre sur Terre et les conséquences sur le climat.

d. Les géantes gazeuses et glacées

Jupiter et **Saturne** sont deux planètes géantes gazeuses. Géantes car elles ont respectivement un diamètre de 11 et 9 fois celui de la Terre et une masse de 318 et 95 fois celle de la Terre. Jupiter est ainsi la plus grosse et la plus massive des planètes ! Gazeuses car leur cœur solide ne représente que 10-15% seulement de leur masse, l'essentiel de celle-ci étant concentrée dans une gigantesque enveloppe gazeuse, composée à 99 % d'hydrogène et d'hélium, deux éléments très légers.

Jupiter est recouverte de nuages composés principalement d'ammoniac, structurés en zones et en bandes longitudinales, dont les interactions sont très turbulentes. Une caractéristique notable de Jupiter est d'ailleurs ce qu'on appelle la grande tâche rouge (voir photo ci-dessous). Cette tache est en réalité une tempête, un anticyclone plus gros que la Terre elle-même, qui existe depuis le XVIIème siècle au moins, car Jean-Dominique Cassini l'aurait déjà observé en 1665. Les vents dans l'atmosphère de Jupiter peuvent être assez violents, de l'ordre de 100 m/s.

Jupiter et Saturne sont toutes les deux entourées d'une magnétosphère, une coquille de fort champ magnétique engendré par ces planètes. L'interaction entre ces champs magnétiques et le vent solaire (des particules du Soleil ionisées et éjectées dans toutes les directions à très grande vitesse) peut créer des précipitations de particules ionisées le long des lignes de champ magnétique jusqu'aux pôles : c'est le phénomène d'aurore polaire.

Les quatre planètes géantes possèdent toutes un système d'anneaux, mais c'est celui de Saturne qui est le plus remarquable car il est très brillant et s'étend sur plus

de 400 000 km, tout en étant très fin (moins d'un kilomètre d'épaisseur). Ces anneaux sont constitués de nombreuses particules de roches et de glaces en orbite autour de la planète, dont la taille varie du grain de poussière à plusieurs mètres. On pense aujourd'hui que cet anneau est récent. En effet, il n'est pas stable dynamiquement et ne peut pas être aussi vieux que la planète. Les anneaux seraient issus d'un ancien satellite de Saturne qui se serait approché de la planète au point d'être complètement désintégré par les forces de marées.



Jupiter vue par la sonde Cassini en 2000, en route vers Saturne. On y remarque la structure nuageuse en bandes horizontales, ainsi que la grande tâche rouge.

Crédits: NASA



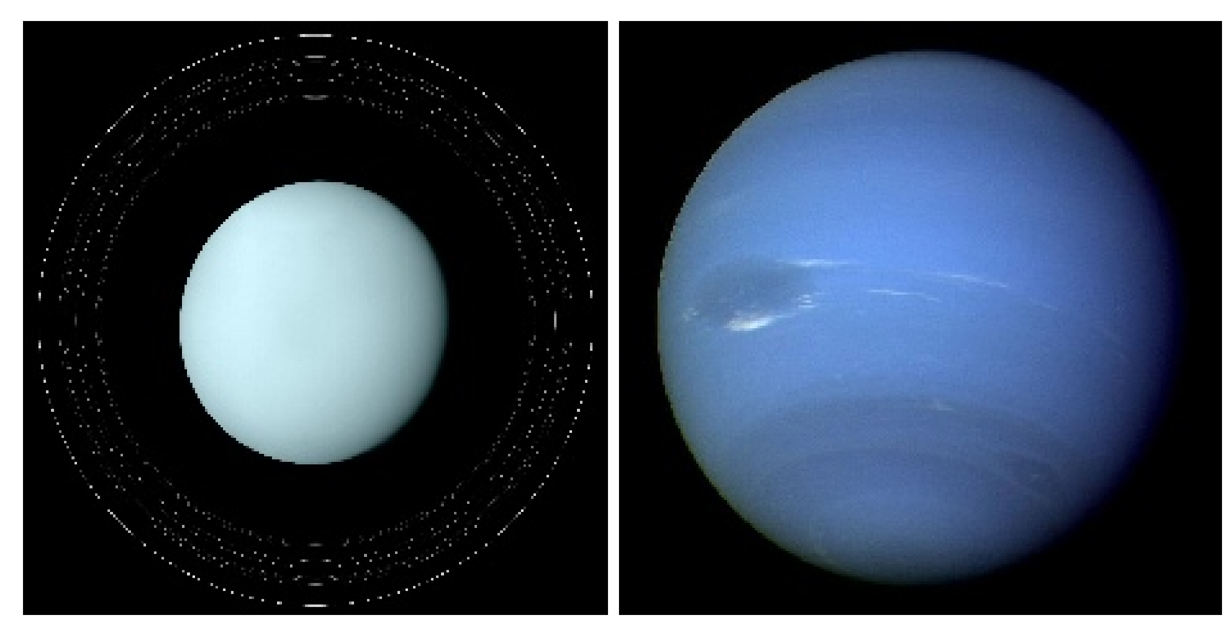
Saturne vue par Cassini sous un angle insolite, irréalisable depuis la Terre. L'impressionnante structure des anneaux est visible en totalité, excepté lorsque la planète fait de l'ombre sur ses propres anneaux. Notez également l'ombre des anneaux se projetant sur la planète.

Crédits: NASA

Enfin, Jupiter et Saturne possèdent de nombreux satellites (respectivement 63 et 52 connus). Les plus gros satellites de Jupiter sont les quatre satellites galiléens (nommés ainsi en référence à leur découvreur Galilée) : Io, Europe, Ganymède et Callisto. Ces satellites, de diamètre similaire ou supérieur à celui de la Lune sont comparables à de petites planètes à part entière, avec des caractéristiques très différentes: volcanisme intense sur Io, surface glacée recouvrant sans doute un océan d'eau sur Europe...

Quant à Saturne, son plus gros et plus célèbre satellite est Titan. Il a fait l'objet d'une exploration par le module de descente Huygens de la sonde Cassini. Titan est le seul satellite du système solaire à être entouré d'une atmosphère dense (1,5 fois la pression atmosphérique terrestre). Celle-ci est essentiellement composée de méthane, et on observe d'ailleurs des lacs d'hydrocarbures à la surface du satellite : un cycle du méthane, analogue au cycle de l'eau sur Terre, a sans doute lieu sur

Titan. Ce satellite intrigue les scientifiques car on suppose que l'atmosphère primitive de la Terre devait y ressembler, et que des macromolécules « prébiotiques » pourraient s'y former. Mais la faible température de Titan (-180°C) laisse peu d'espoir à la vie ! Citons un autre satellite de Saturne, Encelade, dont on a récemment découvert qu'il était le lieu de cryovolcanisme (du volcanisme en milieu glacé, où les glaces en fusion remplacent le magma) et éjectait de la matière à travers des geysers. Là encore, de l'eau liquide sous la surface pourrait exister.



Uranus photographiée par la sonde Voyager 2. On voit bien son système de fins anneaux.

Crédits: NASA

Neptune photographiée par la sonde Voyager 2 en 1989. On voit la structure nuageuse appelée à l'époque « la grande tache sombre » par analogie avec la tempête jovienne ; cette tache s'est aujourd'hui dissipée.

Crédits: NASA

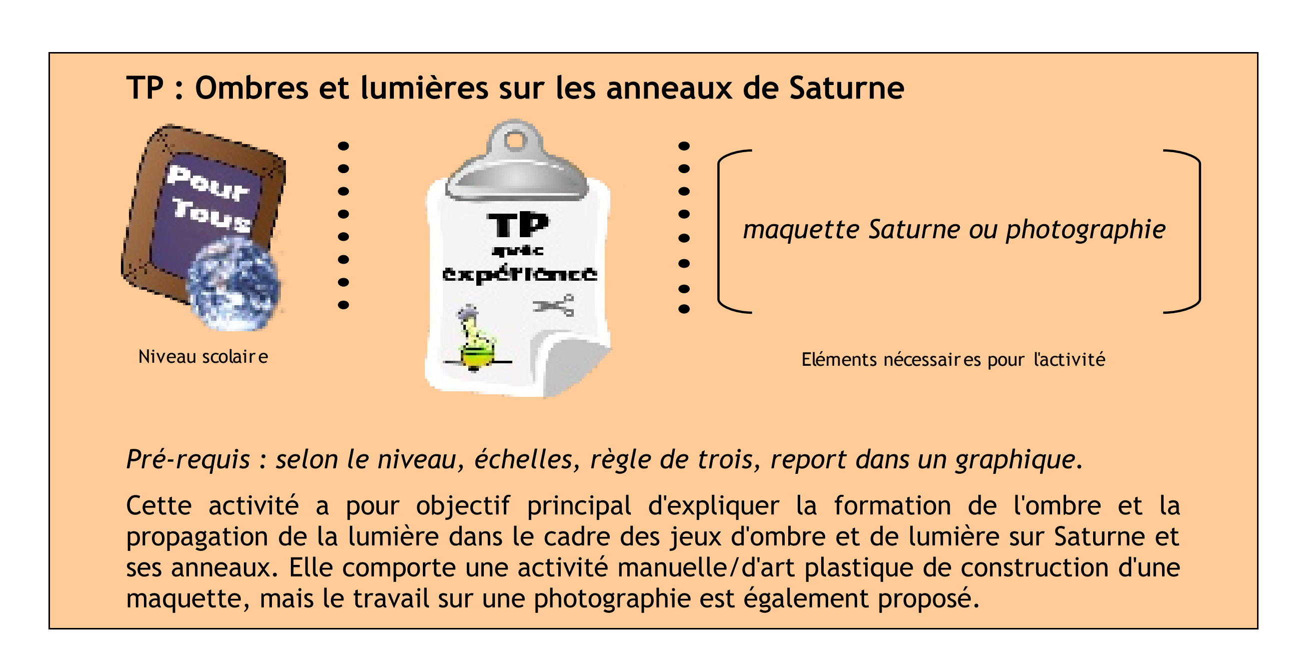
Uranus et **Neptune** sont plutôt considérées comme des géantes glacées et non gazeuses, car la proportion de leur cœur de glaces et de roches par rapport à leur enveloppe gazeuse est beaucoup plus élevée que dans le cas de Jupiter et Saturne. Elles ont des masses plus modestes, de l'ordre de 15 et 17 fois la masse de la Terre.

La caractéristique la plus originale d'Uranus est que son axe de rotation est complètement penché, quasiment dans le plan de son orbite ! Cela pourrait s'expliquer par un mécanisme collisionnel durant la formation de la planète qui l'aurait fait basculer. Uranus présente donc au Soleil tantôt l'hémisphère Nord, tantôt l'hémisphère Sud, une demi révolution plus tard. Ces grandes variations de flux solaire doivent avoir d'importantes conséquences sur le climat de la planète, même si elles n'ont encore jamais été mises en évidence à cause de la période de révolution très longue de la planète (86 ans).

Neptune est la planète la plus éloignée du système solaire. Sa distance moyenne au Soleil est 30 fois la distance Terre-Soleil, et sa période de révolution est 164 ans. Elle est si éloignée qu'elle est invisible à l'œil nu. Elle a été découverte en 1846 à partir de l'analyse fine de l'orbite d'Uranus : cette dernière possède des anomalies, uniquement explicables par la présence d'une autre planète très massive à proximité.

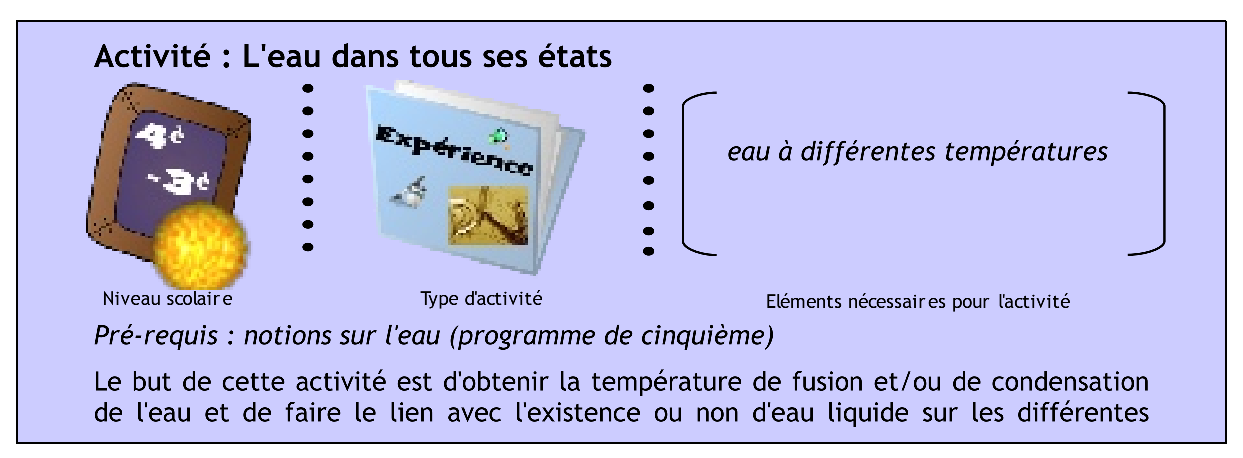
Par le calcul, Urbain Le Verrier et John Couch Adams ont prédit la position dans le ciel d'une planète responsable de ces perturbations que John Galle a effectivement observée : Neptune. C'est une planète bleutée dont l'atmosphère est très changeante : c'est sur Neptune que l'on trouve les vents les plus violent dans le système solaire, atteignant plus de 2000 km/h ! On y observe, comme sur Jupiter, des tâches correspondant à des tempêtes.

De même que Jupiter et Saturne, Uranus et Neptune possèdent toutes les deux un système d'anneaux, un champ magnétique et de nombreux satellites dont Triton, le plus gros satellite de Neptune. Ces propriétés sont donc caractéristiques des planètes géantes.



e. L'eau dans le système solaire

La molécule d'eau, $H_2$0, est omniprésente dans le système solaire : en cherchant bien on la retrouve sur toutes les planètes et les petits corps, en des quantités plus ou moins grandes, mais sous des formes différentes : gazeuse, liquide et solide.



planètes. Bien entendu, la réalité est plus complexe car les conditions de pression, en plus de la température, interviennent sur les changements d'états de l'eau, mais ce point ne sera pas abordé en détail à ce niveau.

On rappellera tout d'abord les différents changements d'état. **Sur Terre**, lorsqu'on augmente la température, l'eau passe de l'état solide (glace) à l'état liquide : c'est la fusion de l'eau. Si on augmente encore la température, on obtient de la vapeur d'eau, sa forme gazeuse : c'est la vaporisation de l'eau. On ne détaille pas les montages expérimentaux, décrits dans tous les bons manuels de physique-chimie, qui consistent à mesurer la température à laquelle la glace fond, et à laquelle l'eau se vaporise.

Une fois les températures de fusion (~0°C) et de vaporisation (~100°C) obtenues, les élèves chercheront les valeurs des températures moyennes sur les planètes, astéroïdes et comètes. D'après ces valeurs, pourrait-il y avoir de l'eau liquide sur ces objets ? Réponse: la Terre est la seule où les conditions sont favorables en surface avec une température moyenne de 15°C. Mais sur certaines planètes ou satellites, la basse température en surface peut cacher une température plus élevée sous la surface. Cela peut-être le cas sur Mars et Europe (un satellite de Jupiter), qui cachent peut-être des rivières ou des lacs souterrains. Sous quelles autres formes peut-on rencontrer l'eau dans le système solaire, en fonction des températures déterminées? (voir discussion ci-dessous)

Pour aller plus loin, on peut évoquer un autre changement d'état que l'on ne rencontre pas sur Terre. Lorsque la pression environnante est plus faible que sur Terre, l'eau passe directement de l'état solide à l'état gazeux, sans passer par l'état liquide: cela s'appelle la **sublimation**. C'est le cas par exemple sur Mars et sur les comètes ! On pourra d'ailleurs faire chercher la valeur de la pression atmosphérique martienne (moins de 1 % la valeur terrestre). Sur Mars, les calottes polaires composées en partie d'eau se subliment en partie selon les saisons, tandis que dans le cas des comètes, ces énormes blocs de glace et de poussières chauffent lorsqu'ils se rapprochent du Soleil. La glace se sublime alors et forme cette queue de gaz très caractéristique des comètes, pouvant s'étendre sur des millions de kilomètres !

Cela permet de faire sentir que le système solaire, à travers son lot de conditions extrêmes, est un excellent « laboratoire » pour le scientifique : il peut y étudier des phénomènes qu'il ne pourrait pas reproduire (ou difficilement) sur Terre.

Nous trouvons beaucoup d'eau sous forme solide sur Mars, dans les deux calottes polaires. Il a été calculé que la fonte hypothétique des calottes pourrait recouvrir Mars d'un océan d'environ 11 mètres de profondeur !

Même Mercure, la planète la plus proche du Soleil, avec ses conditions de températures extrêmes, pourrait contenir de l'eau au fond de quelques cratères situés près des pôles de la planète, là où la lumière ne parvient jamais au fond et la température reste très basse.

Sur Vénus, de l'eau liquide a sans doute existé au début de sa formation, un peu de la même manière que sur Terre, mais l'emballement de l'effet de serre a évaporé les éventuels océans. On retrouve toutefois encore aujourd'hui quelques traces de vapeur d'eau dans son atmosphère.

On rencontre également de l'eau sous forme gazeuse dans l'atmosphère des planètes géantes. Ces molécules d'eau (et d'autres composés oxygénés comme le monoxyde de carbone CO, le dioxyde de carbone CO_2...) sont en partie apportées par des impacts extérieurs de comètes, micro-météorites ou bien de particules évaporées des anneaux dans le cas de Saturne. L'exemple le plus flagrant est celui

de la désintégration de la comète Shoemaker-Levy 9 (SL-9) dans l'atmosphère de Jupiter en 1994 – cette comète s'était quelques années auparavant fragmentée sous l'effet des forces de marée importantes de Jupiter. Les scientifiques ont pu suivre l'évolution de la rentrée dans l'atmosphère de ces fragments riches en glaces, et l'évolution de la concentration en molécules oxygénées au cours des mois qui suivirent. Il a été calculé que ces impacts de comètes seraient relativement fréquents, de l'ordre d'un ou deux par siècles, mais seulement d'un par millénaire pour les comètes de la taille de SL-9.

f. Bilan

Voici, pour finir cette partie, deux activités de bilan sur les objets du système solaire:

Activité : D'où vient le nom des planètes ?



Pré-requis : connaissances générales sur les planètes.

D'où vient le nom des planètes ? Est-il relié à une de leurs caractéristiques, ou bien ont-ils été donnés au hasard ? Cette activité paraît anodine mais possède un fort potentiel car on peut expliquer bien des choses à partir du simple nom des planètes. Les enfants travailleront en groupe, chacun ayant pour mission de décortiquer le nom de sa planète (recherche bibliographique ou à partir des fiches planètes de la mallette...) ; puis ils rédigeront leur analyse et la présenteront à toute la classe.

Quelques éléments : de manière générale, à part pour la Terre, les planètes ont des noms de dieux gréco-romains : il y a déjà là une piste à creuser sur la mythologie. Mais ces noms sont aussi reliés à leur caractéristiques. Le cas le plus simple est Jupiter : c'est le « Dieu des Dieux », or Jupiter est la plus grosse et la plus massive des planètes. Mercure, le messager des dieux, est la planète qui effectue une révolution le plus rapidement autour du Soleil (la rapidité est un bon point pour un messager !). Nous avons déjà évoqué le cas de Mars, la « planète rouge ». Vénus, déesse de la beauté, est celle qui nous apparaît la plus brillante depuis la Terre. Ces noms sont également reliés à l'histoire de leur découverte, qu'il peut être intéressant de creuser.

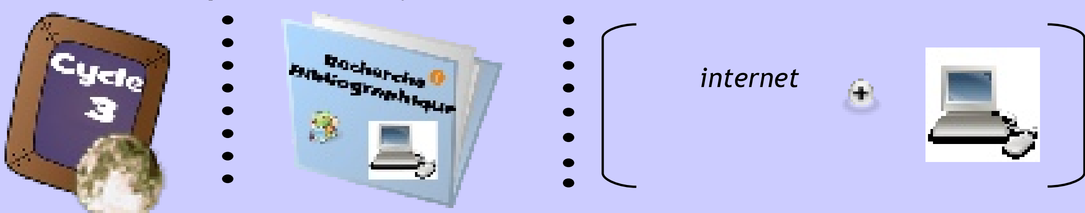
Certains noms ne correspondent à « rien de spécial », ou bien ont des connotations antinomiques par rapport à leur caractéristiques, car elles ont été nommées bien avant qu'on ne les connaisse en détail, ce sont des cas intéressants également. C'est le cas par exemple de Vénus, dont les conditions sont loin d'être hospitalières : pas terrible pour la déesse de la beauté ! Les élèves pourront chercher à renommer ces planètes dans ce cas. Par exemple Neptune, nommé en référence au dieu de la mer alors qu'il n'y a pas d'eau liquide (il y fait bien trop froid!), pourrait être renommé en « Éole », le dieu du vent, en l'honneur des vent violents qui soufflent dans son atmosphère.

Enfin, on pourra réfléchir sur l'origine du nom des jours de la semaine.

Ce travail sur les noms permet de fixer les connaissances sur les caractéristiques des planètes, l'origine de leur découverte et l'évolution de nos propres connaissances.

Pour aller plus loin, on pourra s'intéresser au nom des satellites qui révèlent quelques surprises insolites. On peut se référer au CD « Promenade dans le système solaire », inclus dans la mallette, dans lequel il y a un chapitre très complet sur les origines des noms des objets du système solaire.

Activité : Enquête sur le système solaire



Pré-requis : quelques connaissances sur les planètes, mais le but est de les approfondir.

Chaque groupe d'élève reçoit la mission de faire une enquête sur une des planètes du système solaire, les astéroïdes ou les comètes. Le but est de les entraîner à la recherche bibliographique (via une encyclopédie et internet si possible), la classification et la présentation des informations sous forme d'une affiche, que le groupe commentera devant la classe.

Pour les guider, on pourra leur poser les questions suivantes:

– De quoi est-il constitué ? Est-il solide, liquide, gazeux ? Comment est sa surface ?
– Quelle est sa taille par rapport à la Terre ? Son mouvement dans le système solaire ?
– Tourne t-il sur lui-même ? Y a t-il des jours et des nuits à sa surface, des saisons ?
– Pourrait-on vivre à sa surface ? Pour quelle(s) raison(s) ?
– Cet objet a-t-il déjà été exploré, et par quel moyen (sonde, robot à sa surface, astronaute...) ?
– Peut-on voir cet objet depuis la Terre ? A l'oeil nu, avec des jumelles, avec un télescope ?
– Possède-t-on des photos de cet objet ?
– Quels sont les traits marquant de cet objet ?

C : Échelle des tailles et des distances: voyage dans le système solaire

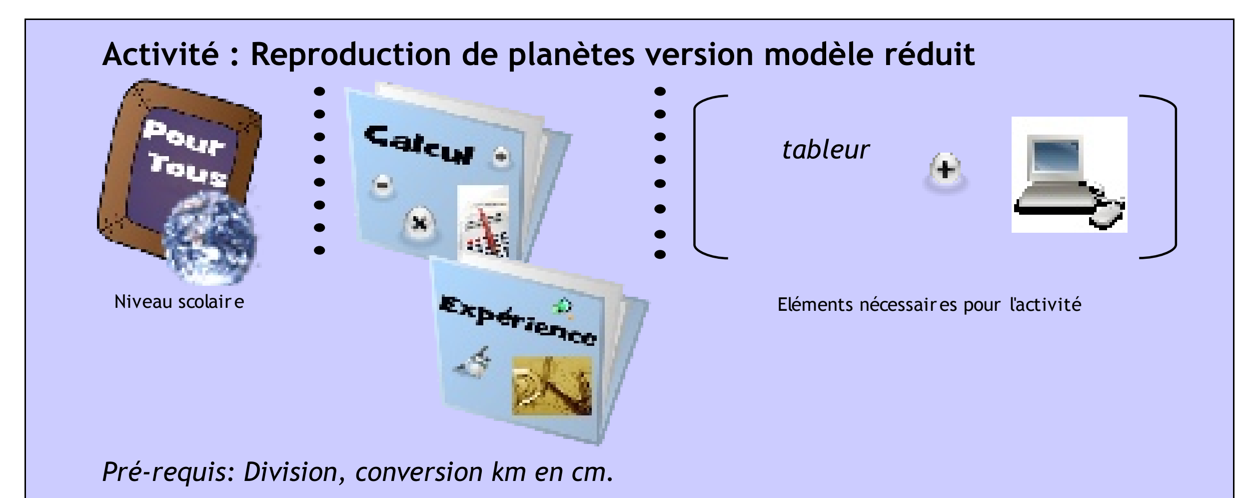
***But** : se rendre compte de la taille des objets du système solaire et de la distance qui les sépare ; acquérir la notion d'échelle ; se représenter les objets dans l'espace.*

La notion fondamentale développée dans cette partie est celle d'échelle. Pour une représentation cohérente du système solaire, les dimensions doivent être suffisamment réduites afin de pouvoir représenter les grandes distances qui séparent les planètes sur une distance parcourable à pied, mais pas trop réduites pour que les planètes soient encore visible et non microscopiques !

a. *La notion des tailles*

Dans un premier temps, à la suite de la découverte par les élèves des différentes caractéristiques des planètes, on pourra chercher à en faire une représentation en respectant leurs tailles respectives ; par exemple, soit en pâte à modeler, soit en utilisant directement les maquettes des planètes de la mallette. On se rendra compte qu'en effet, les planètes telluriques sont bien plus petites que les planètes gazeuses, et que Jupiter est la plus grosse planète du système solaire, avec un rayon 11 fois supérieur à celui de la Terre.

Activité : Reproduction de planètes version modèle réduit



Niveau scolaire

Eléments nécessaires pour l'activité

Pré-requis: Division, conversion km en cm.

Le but de cette activité est de se familiariser avec la notion d'échelle et de faire des applications numériques. Les élèves doivent trouver par eux-même une échelle avec laquelle on va pouvoir représenter les planètes de manière à ce qu'on puisse les tenir dans les mains ; c'est à dire typiquement de la taille de quelques millimètres à quelques centimètres, et réaliser par la suite ces planètes en pâte à modeler (ou autre matière commode à disposition). Faut-il diviser la taille réelle des planètes par mille? Cent mille? On leur donnera les valeurs des rayons planétaires (ou ils pourront les chercher eux-mêmes):

Mercure	*Vénus*	*Terre*	*Mars*	*Jupiter*	*Saturne*	*Uranus*	*Neptune*
2 440 km	*6 052 km*	*6 378 km*	*3 402 km*	*71 492 km*	*60 268 km*	*25 656 km*	*24 960 km*

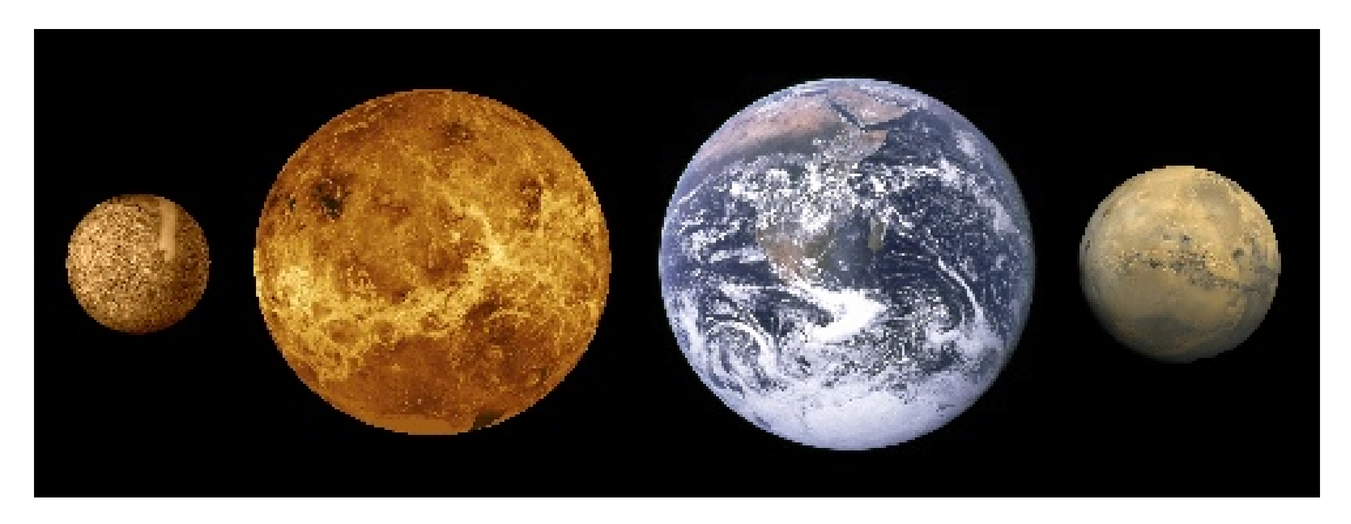
Cela peut-être l'occasion d'utiliser un tableur (compétence du B2i).

Solution: une échelle commode est comprise entre 1 : 500 000 000 et 1 : 5 000 000 000 (on expliquera cette notation).

Question : Quelle taille aurait le Soleil (de diamètre 1,4 millions de km) à cette échelle ?

b. La notion des distances

On pourra demander aux élèves de placer les planètes (les leurs ou celles fournies dans la mallette, avec précaution) dans l'espace de la salle de classe ou de la cour, par ordre d'éloignement au Soleil, sans donner d'indications particulières. L'expérience montre que les élèves vont très largement sous-estimer la distance entre les planètes, qui est très grande par rapport à la taille des objets : le système solaire est composé de beaucoup de vide ! Notamment, il existe un grand saut de distance entre Mars et Jupiter, où se situe la ceinture principale d'astéroïdes.



Comparaison des quatre planètes telluriques, de gauche à droite : Mercure, Vénus, la Terre et Mars. L'échelle de leur taille relative est respectée, mais pas celle des distances !

Crédits: NASA

Activité: Reproduction à l'échelle des tailles et des distances

Pour Tous

Niveau scolaire

Expérience

Calcul

+ *tableur*

Eléments nécessaires pour l'activité

Pré-requis : Division, conversion km en cm.

Cette fois-ci, on cherche tout d'abord une échelle qui nous permet de représenter les planètes dans l'espace, en respectant leur éloignement les unes par rapport aux autres. On donne les valeurs suivantes pour les distance Soleil-planète **(en millions de km)** :

Mercure	*Vénus*	*Terre*	*Mars*	*Jupiter*	*Saturne*	*Uranus*	*Neptune*
58	*108*	*150*	*228*	*778*	*1 420*	*2 870*	*4 500*

On peut procéder de plusieurs manières, par étapes:

- Trouver une échelle permettant de représenter toutes les planètes dans la classe (on trouve une échelle de...1 : 1 000 milliards pour mettre Neptune à 4,5 mètres du centre de la classe !!!)
- Avec cette échelle, qui permet de tout représenter dans la classe, quelle taille auraient les planètes? (quelques centièmes de mm seulement...). Qu'en pensez-vous?
- On va maintenant procéder de la manière inverse, en calculant à quelle distance on doit placer les planètes si elles ont la taille que l'on a déterminée dans l'activité précédente (une autre occasion d'utiliser un tableur). Exemple : Si on a utilisé l'échelle de 1:10 milliard pour la taille des planètes, on réutilise cette échelle, ce qui donne une distance Terre-Soleil de 15 mètres pour une Terre de 0,6 mm!

Bilan : on ne va pas pouvoir représenter le système solaire en entier. En se plaçant dans la cour, on pourra représenter le Soleil et les quatre premières planètes, puis on pourra trouver des points de repère comme des lieux connus (arbre, statue...) situés à plusieurs centaines de mètres pour visualiser les distances des quatre planètes gazeuses. On se rend ainsi compte des très grandes distances comparées à la petite taille des planètes.

Avec le Soleil gonflable (penser à le gonfler à l'extérieur car une fois gonflé, il ne passe plus les portes !) et les maquettes fournies, l'échelle est de 1:1 milliard. Les planètes sont ainsi plus grandes, ainsi que les distances : la Terre est déjà à 150 mètres du Soleil!

Question subsidiaire : l'étoile la plus proche de la Terre (après le Soleil) s'appelle Proxima du Centaure. Elle est située à 4,2 années-lumière, soit une distance d'environ 40000 milliards de km. A l'échelle de votre système solaire, où se situerait-elle? (Réponse pour l'échelle 1:10 milliard, elle serait à 4 000 km ; on pourra chercher sur *google maps* des villes à cette distance.).

D : Les petits corps

***But** : découverte des corps les plus nombreux du système solaire : les astéroïdes et les comètes.*

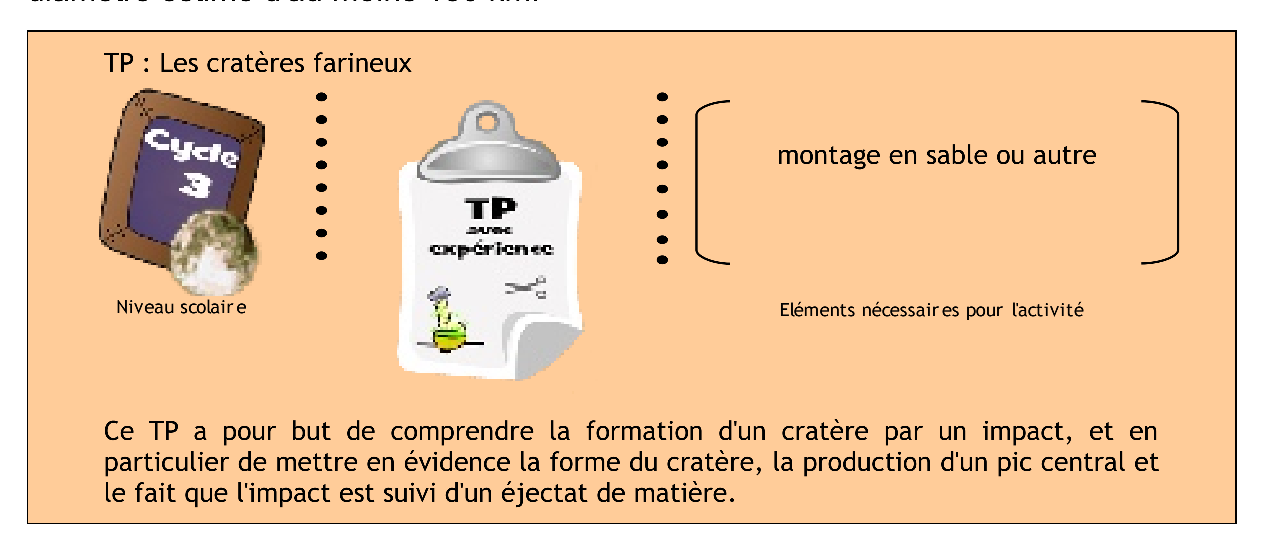
a. Les astéroïdes

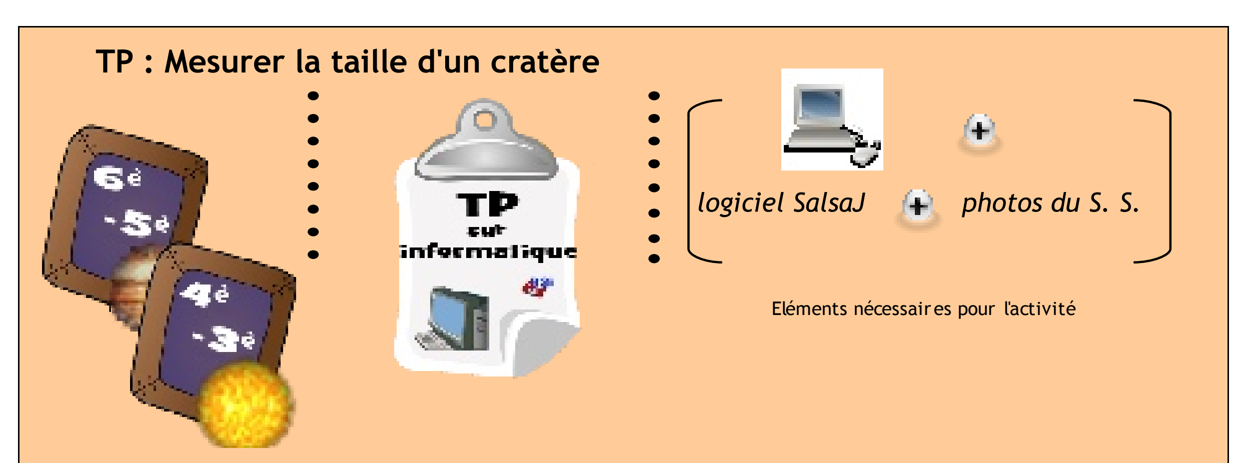
Le premier jour de l'année 1801, Giuseppe Piazzi découvrit un objet qu'il pensa d'abord être une comète. Mais après que son orbite fut mieux déterminée, il apparut évident que ce n'était pas une comète mais plus vraisemblablement une petite

planète. Piazzi l'appela Cérès, en l'honneur du dieu sicilien de l'agriculture. Cette découverte marqua le début de l'exploration et de la recherche sur la population astéroïdale. Mais pourquoi étudier les astéroïdes ?

Petits objets rocheux de taille n'excédant pas quelques centaines de kilomètres de diamètre, les astéroïdes ont souvent été appelés, au milieu du siècle dernier, « les vermines du ciel ». Les petites traînées qu'ils laissaient sur les plaques photographiques étaient considérées comme des nuisances. Les astéroïdes occupent principalement la région de transition, entre les planètes telluriques et les planètes géantes, c'est à dire entre 2,1 et 3,3 UA. Quoique les astéroïdes aient subi une substantielle évolution collisionnelle depuis leur formation, la plupart d'entre eux n'ont pas eu à souffrir d'une grande évolution géologique, thermique ou orbitale. Et c'est là que réside le principal intérêt de l'étude des astéroïdes. De par leur petitesse, ces objets ont très vite évacué la chaleur originelle de la nébuleuse protosolaire, figeant ainsi la composition initiale de cette dernière. Ainsi l'étude des petits corps nous renseigne sur les conditions initiales qui ont prévalu à la naissance du système solaire. En particulier, les météorites, qui sont des fragments d'astéroïdes tombés sur Terre, sont les preuves fossiles des événements qui ont affecté les premiers temps de la formation du système solaire.

Les astéroïdes sont aussi importants parce qu'ils sont la source de la plupart des météorites. De plus, certains astéroïdes, les géocroiseurs, présentent un danger pour la Terre car leurs orbites croisent celle de notre planète. On sait que la Terre, comme tous les corps du système solaire, a eu un passé violent. Pour preuve, la constellation de cratères dont est ornée la surface lunaire. De telles cicatrices sur Terre ont été masquées et érodées par l'activité terrestre. Il est rituel quand on parle de ce sujet, d'évoquer la chute d'un astéroïde ou d'une comète, il y a 65 millions d'années, à la frontière du Crétacé et du Tertiaire et qui fut peut-être responsable de l'extinction des dinosaures. Le cratère d'impact, retrouvé près de la côte de la péninsule de Yucatán, près du village de Chicxulub (golfe du Mexique), a un diamètre estimé d'au moins 180 km.





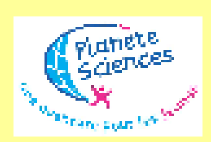
Pré-requis : règle de trois, échelles, notions sur les volcans, l'outil informatique.

Dans ces Travaux Pratiques nous utilisons le logiciel didactique de traitement d'images *SalsaJ (EU-HOU)*, qui permet de manipuler et analyser simplement les images. Les images que nous allons étudier sont dans le format jpeg (*.jpg*) ou dans le format fits (*.fts*).

Tout d'abord on propose aux élèves de déterminer à partir de photos la taille d'un cratère sur Mars, puis d'un cratère terrestre. Puis on comparera des cratères d'impact sur des objets de tailles très différentes : sur Mimas et Ganymède, et sur une sphérule.

Observations : Mesurer la taille d'un cratère lunaire

Ces deux projets observationnels consistent à déterminer la hauteur d'un cratère ou d'une montagne lunaire en observant son ombre portée. Dans la première méthode, on le fait précisément en mesurant la taille de l'ombre sur une image du cratère. Dans la deuxième méthode, on utilise le mouvement apparent de la Lune dans le ciel et on mesure le temps que met cette ombre à défiler dans le champ du télescope pour en déterminer la taille, connaissant la taille de la Lune. Dans les deux cas on trouvera une méthode pour mesurer, plus simplement, la circonférence d'un cratère lunaire.



Un troisième et dernier intérêt que l'on peut trouver à l'étude des astéroïdes est d'aspect économique. Les ressources sur Terre ne sont pas inépuisables, et on peut envisager, dans un futur proche pouvoir exploiter les ressources minières des astéroïdes. On estime qu'un kilomètre cube d'astéroïde de type M, c'est à dire métallique, contient 7 milliards de tonnes de fer, 1 milliard de tonne de nickel, et suffisamment de cobalt pour satisfaire la consommation mondiale pendant 3000 ans. Les astéroïdes peuvent constituer d'avantageuses bases spatiales de pré-colonisation du système solaire. En effet, grâce à leurs ressources minières, ils peuvent pourvoir les colons en matériaux de construction, ainsi que leurs besoins en eau, oxygène, carbone et azote. De plus, de part leur faible masse donc gravité, l'énergie requise pour quitter l'astéroïde-hôte est beaucoup plus faible que celle

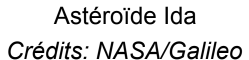
nécessaire pour quitter la Terre.

À ce jour (2008), nous connaissons plus de 400 000 astéroïdes dont près de 190 000 sont numérotés[2]. Un astéroïde obtient un numéro (et parfois un nom) quand un nombre suffisant d'observations a été effectué pour déterminer ses éléments orbitaux avec précision. Grâce aux programmes automatiques de recherche, le rythme actuel des découvertes est de plusieurs milliers par an. Il y a certainement encore des centaines de milliers d'autres astéroïdes qui sont trop petits, trop sombres ou trop distants de la Terre pour être détectés. En laissant de côté Cérès maintenant classifié comme planète naine avec ses 950 kilomètres de diamètre, les plus gros astéroïdes sont Vesta (576 km), Pallas (538 km) et Hygiéa (429 km). Ensuite, les tailles décroissent très vite car seulement 30 astéroïdes sont plus grands que 200 km, 200 sont plus grands que 100 km et il existe sans doute un million d'astéroïdes de taille kilométrique.

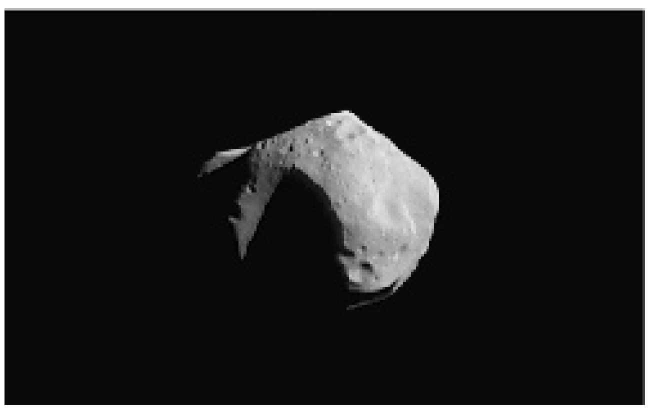
Même avec les plus grands télescopes du monde, un astéroïde apparaîtra toujours comme un petit point faiblement brillant, car c'est un corps relativement petit et distant. Pour avoir une idée véritable de la surface d'un astéroïde et en avoir une image précise, il faut envoyer une sonde planétaire. On a eu ces dernières années la chance d'avoir des missions spatiales qui nous ont rapporté des images spectaculaires de ces petits corps

Les premières images d'astéroïdes (Ida et Gaspra) ont été prises par la sonde Galileo en route vers Jupiter. Ida a pour dimensions 56 x 24 x 21 kilomètres. On peut voir que sa surface est couverte de cratères, montrant ainsi qu'aucun corps du système solaire (même aussi petit qu'un astéroïde) n'a été exempt de collisions. Les images de Mathilde (un autre astéroïde survolé par la sonde NEAR) ont surpris par l'intensité des collisions qui ont affecté sa surface. L'imageur de la sonde a trouvé au moins cinq cratères de plus de vingt kilomètres de diamètre sur le côté jour de l'astéroïde. On se demande comment Mathilde a pu rester intact après des collisions aussi violentes.





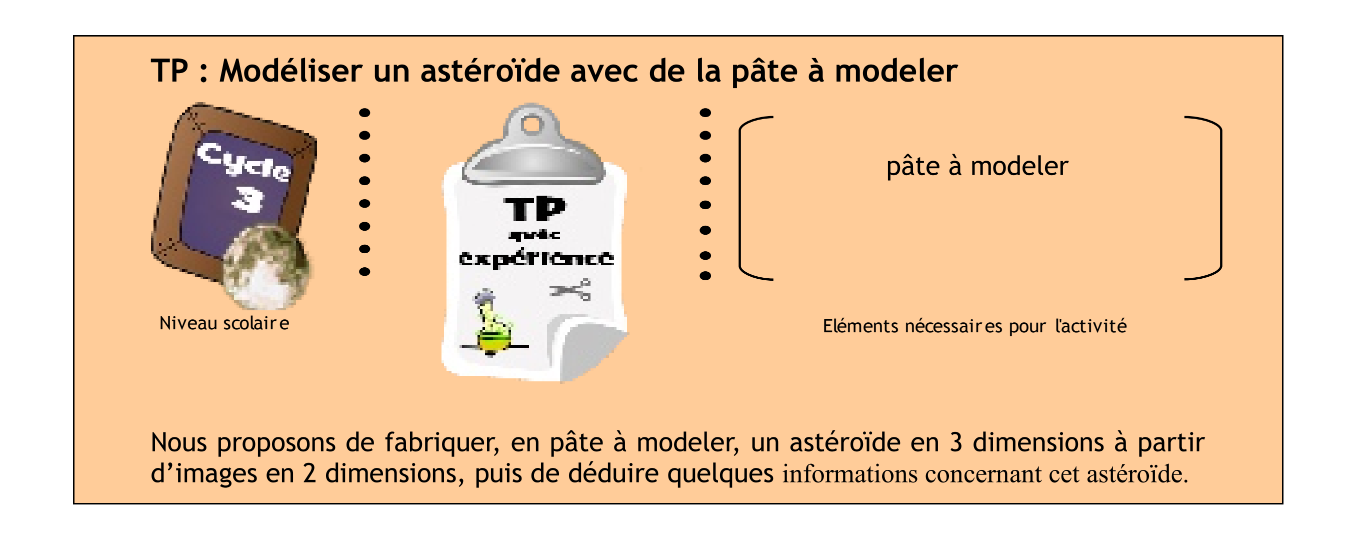
Astéroïde Ida
Crédits: NASA/Galileo



Astéroïde Mathilde
Crédits: NASA/Galileo

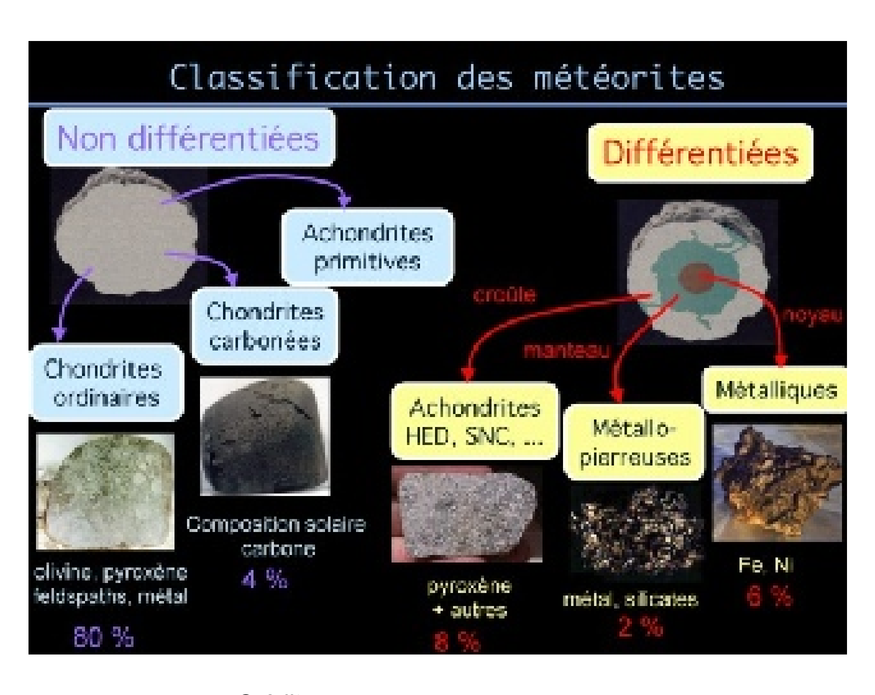
2 Voir le site internet AstDys (Asteroids – Dynamic Site) : http://hamilton.dm.unipi.it/cgi-bin/astdys/astibo

TP : Modéliser un astéroïde avec de la pâte à modeler



Nous proposons de fabriquer, en pâte à modeler, un astéroïde en 3 dimensions à partir d'images en 2 dimensions, puis de déduire quelques informations concernant cet astéroïde.

De même que pour les astéroïdes, la nature des météorites doit refléter leur origine et la nature de leurs corps parents : les météorites primitives (chondrites et achondrites primitives) n'ont pas été réchauffées depuis leur formation dans la nébuleuse primitive, et ne peuvent provenir que de petits corps indifférenciés. Les achondrites non primitives proviennent de corps beaucoup plus gros, qui ont pu chauffer. En particulier les achondrites basaltiques proviennent de corps suffisamment gros pour avoir complètement fondus, et avoir développé un manteau et une croûte rocheux. Les météorites métalliques, constituées d'alliages de fer et de nickel, sont formées dans le noyau métallique de tels objets, qui ont donc été totalement disloqués. Les météorites métallo-pierreuses (litho-sidérites) proviennent d'une zone de transition entre manteau et noyau.



Crédit : Stéphane Erard (LESIA/OBSPM)

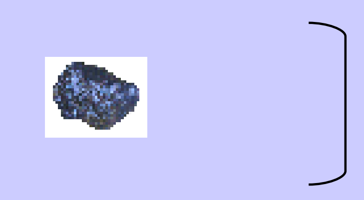
Activité : La météorite de Noblesville[3]



Niveau scolaire



Type d'activité



Eléments nécessaires pour l'activité

Les chutes de météorites sont rarement observées ; celle de Noblesville (États-Unis) en 1991 a été vue par deux garçons. Cette activité propose de réfléchir avec la classe à ce phénomène à travers l'histoire de ces deux garçons.

La chute

« Le 31 août 1991 à 19 heures, le crépuscule tombe sur la petite ville de Noblesville dans l'Indiana. Deux garçons, Brodie Spaulding et Brian Kinzie, de 13 ans et 9 ans, reviennent d'une ballade à vélo et discutent tranquillement dans le jardin de Brodie. Soudain, ils entendent un sifflement grave. Brian voit alors un objet filer dans l'air près de Brodie. L'objet atterrit avec un bruit sourd sur le sol à quatre mètres d'eux. Les garçons prennent l'objet, qui ressemble à un caillou, et sentent qu'il est un peu chaud. Il a fait un trou de 5 centimètres de profondeur là où il a atterrit. Ils regardent alors autour d'eux et ne trouvent personne qui aurait pu avoir lancé cette pierre. »

Après avoir lu cette histoire à la classe, demandez leur ce qu'ils auraient ressenti à la place des deux garçons, ce qu'ils auraient voulu savoir et ce qu'ils auraient fait.

La fin de l'histoire

« Les deux garçons prennent la pierre et l'amènent chez Brodie. Ils décident d'appeler l'Université de Purdue. Le mystère est résolu quelques jours plus tard quand un professeur de l'Université confirme que la pierre est en fait une météorite. Les garçons offrent une petite portion de la météorite aux scientifiques pour qu'ils l'étudient. Alors que des marchands de météorites leur offrent plusieurs centaines de dollars pour acheter la météorite, ils décident de la garder. »

C'est le bon moment pour montrer à la classe la météorite contenue dans la mallette.

b. *Les comètes*

Les comètes sont connues depuis l'antiquité. Certaines sont visibles dans le ciel à de rares occasions (~10 ans). Suivant les différentes cultures, la croyance populaire associait les comètes à un symbole de bon ou de mauvais présage. Elles ont une orbite elliptique et inclinée par rapport au plan de l'écliptique. Certaines sont périodiques, c'est à dire qu'elles sont visibles régulièrement comme la comète de Halley (période 77 ans), d'autres non. Environ 1000 comètes sont recensées actuellement. Les plus grandes ou celles qui s'approchent suffisamment de la Terre sont observables à l'œil nu, mais la plupart d'entre-elles ne sont visibles qu'avec un télescope. Voici deux comètes récentes, qui était très étendues et visibles à l'œil nu:

3 Cette activité est tirée du livret d'activité : « Exploring Meteorite Mysteries » (ARES/NASA).

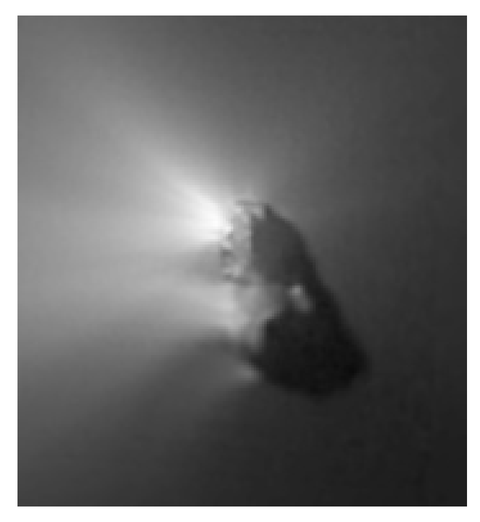


Comète Holmes (2007-2008)
Crédit : J-C Cuillandre (CFHT) & G. Anselmi (Coelum Astronomia), Hawaiian Starlight



Comète de Hale-Bopp (1996-1997)

Crédit : NASA



Noyau de la comète de Halley
Crédit : Halley Multicolor Camera Team Giotto Project, ESA

Le noyau des comètes est composé d'un mélange de glaces et de poussières. On peut associer ce noyau à une « boule de neige sale » légèrement compacte, que l'on pourrait séparer facilement avec ses propres mains, tant le noyau est fragile. Un noyau cométaire peut avoir un diamètre de 1 à 20 km, de masse 10^8-10^{12} tonnes et il tourne sur lui-même avec une période de rotation de 4 à 70 heures. Les noyaux cométaires sont relativement petits et peu massifs comparés aux planètes, et par conséquent leur gravité est faible. Si nous étions sur une comète, un simple saut nous empêcherait de retomber sur celle-ci. Ce même effet explique pourquoi l'atmosphère des comètes n'est pas retenue et s'échappe à tout jamais. Les noyaux cométaires sont tellement petits qu'ils sont difficilement observables depuis la Terre. Cependant la mission spatiale Giotto a permis d'observer de près le noyau de la comète de Halley en 1986.

Quand les comètes s'approchent du soleil, le rayonnement solaire qui les atteint est plus intense et permet de sublimer les glaces. Cet échappement gazeux entraîne avec lui des poussières. On observe ainsi une atmosphère – appelée coma ou chevelure – en expansion (10 000 à 100 000 kilomètres). Une queue de poussières se forme ensuite, de couleur blanchâtre (1 à 10 millions de kilomètres). Elle est orientée dans la direction opposée à celle de la comète mais aussi légèrement déviée dans la direction du Soleil à cause de la pression exercée par la lumière solaire (la pression de radiation). Le rayonnement ultraviolet solaire permet d'ioniser certaines molécules (comme le monoxyde de carbone CO) de la coma. Le vent solaire les oriente dans une direction complètement opposée au soleil, formant ainsi une autre queue cométaire (queue ionique ou de plasma), de couleur bleue (10 à 100 millions de kilomètres).

Activité : Dessine une comète



photos des comètes

Niveau scolaire — Type d'activité — Eléments nécessaires pour l'activité

À partir des photos des comètes Holmes et Hale-Bopp, dessiner ces comètes de façon à faire ressortir les différents éléments qui les composent :

- le noyau : mélange de glaces et de poussières ;
- la Coma/Chevelure : gaz et poussières issus du noyau de la comète, formant une atmosphère ;
- la queue de poussières : poussières éjecté dans le sens opposé à la trajectoire, et légèrement déviées dans la direction du Soleil ;
- la queue de plasma : matière éjectée dans le sens opposé à la direction du Soleil.

Nos connaissances actuelles sur l'origine des comètes indiquent que celles-ci proviennent de deux grands réservoirs différents : le Nuage de Oort et la ceinture de Kuiper. Le nuage de Oort se situe entre 50 000 et 100 000 UA. Les comètes de ce réservoir se seraient formées à l'intérieur du système solaire en même temps qu'il se formait lui-même. On estime qu'environ 1000 milliards de comètes pourraient être présentes dans ce réservoir. La ceinture de Kuiper est le deuxième réservoir de comètes. On peut la représenter comme un tore, entourant le plan de notre système solaire, et qui se serait formée en même temps que celui-ci au-delà de Neptune (de 30 UA jusqu'à une distance inconnue). Depuis 1992, environ 1300 objets de la ceinture de Kuiper (ou objets « Trans-Neptuniens ») ont été détectés (2008), confirmant ainsi l'existence de ce réservoir cométaire.

E : L'exploration du système solaire

***But** : connaître quelques missions spatiales, leur historique liée aux avancées technologiques, les missions actuelles et futures. Découvrir quelques éléments des sondes spatiales et leur fonction.*

L'astrophysique est une science qui a une place un peu particulière parmi les autres domaines de la physique, de la chimie ou de la biologie. En effet, ce n'est pas une science basée sur l'expérimentation, mais principalement sur l'observation : on ne peut pas, en laboratoire, recréer une planète ou une étoile afin de l'étudier ! Pour étudier le plus en détail possible les planètes, des technologies de plus en plus pointues ont été développées : de l'instrumentation au sol (télescopes de plus en plus grands, miroirs déformables afin de corriger les défauts optiques dus à l'atmosphère...) jusqu'aux sondes aujourd'hui en orbite autour d'autres planètes et aux robots effectuant des analyses *in situ* !

a. Un peu d'histoire

Le début de l'ère du spatial débute bien entendu avec le satellite *Spoutnik*, premier satellite en orbite autour de la Terre lancé en 1957 par l'URSS. Les russes lancent la même année *Spoutnik 2*, avec à son bord la chienne Laïka, premier être vivant envoyé dans l'espace ! Les États-Unis suivent en 1958 avec le lancement de leur premier satellite, *Explorer*. Commence alors la conquête spatiale sur fond de guerre froide : les enjeux ne sont alors pas uniquement scientifiques mais également politiques.

Les avancées technologiques s'enchaînent et les prouesses s'en suivent : en 1961, Youri Gagarine est le premier homme en orbite autour de la Terre. Puis c'est la course vers la Lune avec notamment les missions *Apollo*, dont l'événement historique majeur a lieu en 1969 lorsque l'équipage d'*Apollo 11* fait ses premiers pas sur la Lune.

L'exploration de l'ensemble du système solaire est alors à portée de main, mais non humaine : le vol habité ne s'est pas réalisé plus loin que la Lune car ce sont des voyages très longs et très coûteux pour le corps humain. Néanmoins, les sondes d'exploration des autres planètes se multiplient. Citons les différentes sondes *Mariner 4, 9* et *10* en 1972 et 1973, qui ont exploré Mars, Vénus et Mercure ; les sondes *Pioneer 10* et *11* en 1972 et *Voyager 1* et *2* en 1977 qui ont survolé Jupiter et Saturne et ont aujourd'hui quitté le système solaire. Les sondes *Vikings* se sont posées pour la première fois sur Mars ; la sonde *Magellan*, équipée d'un radar, nous a dévoilé pour la première fois les paysages de Vénus ; la sonde *Giotto* fut la première à survoler une comète en 1986 (la comète de Halley).

Plusieurs types de mission sont possibles : un simple survol ; une mise en orbite autour d'une planète ou d'un satellite ; une entrée dans l'atmosphère sans « atterrissage » ; ou encore un module se posant à la surface de l'objet sur l'objet avec une certaine autonomie d'analyse.

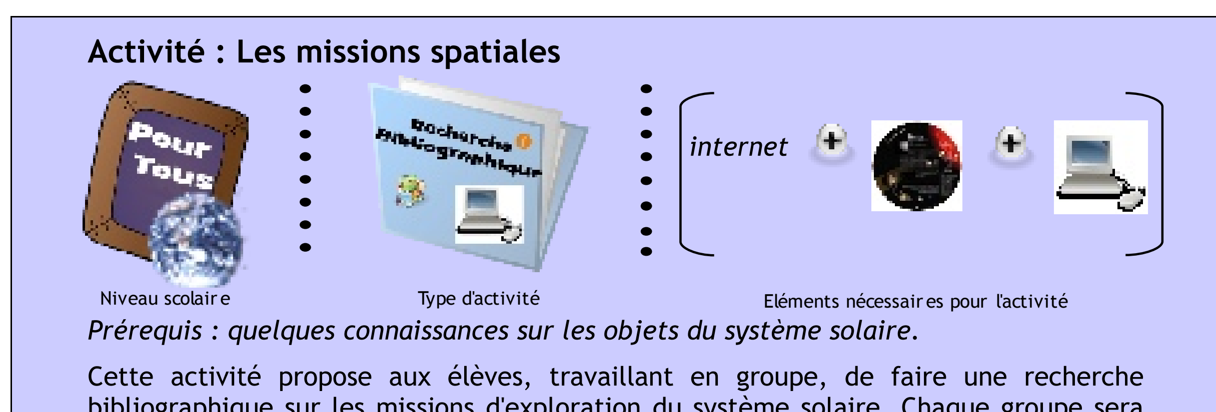
On peut se référer au CD « Promenade dans le système solaire », dans lequel il y a un chapitre très détaillé sur l'exploration spatiale, pour approfondir.

Voici une liste de quelques-missions actuelles et futures parmi les plus remarquables :

- *Messenger*, dédiée à Mercure, dont la mise en orbite est prévue pour 2011 (elle a déjà effectué un survol en 2008) ;
- *Vénus Express*, en orbite autour de la planète depuis 2006 ;
- *Mars Express*, *Mars Exploration Rover* (les deux robots *Spirit* et *Opportunity*, sur le sol martien depuis 2004 et toujours là en 2008 !), *Mars Reconnaissance Orbiter*, enfin *Phoenix* qui a atterri sur Mars en 2008 : les missions récentes martiennes sont nombreuses !
- *Cassini-Huygens* qui est en orbite autour de Saturne depuis 2004 et a également

survolé plusieurs de ses satellites dont Titan, Encelade et Hypérion ;

- *Rosetta*, lancée en 2004, qui doit effectuer le survol de plusieurs comètes. Le but final est la prouesse technique de réaliser le largage d'un robot d'analyse de la surface de l'une d'entre elles en 2014 ;
- *New Horizons*, lancée en 2006, qui ira explorer Pluton en 2015 et des objets de la ceinture de Kuiper par la suite.



Prérequis : quelques connaissances sur les objets du système solaire.

Cette activité propose aux élèves, travaillant en groupe, de faire une recherche bibliographique sur les missions d'exploration du système solaire. Chaque groupe sera chargé d'un objet ou groupe d'objet (Mercure, Vénus, la Lune, Mars, Jupiter, Saturne, les astéroïdes, les comètes et les objets de la ceinture de Kuiper dont Pluton) et devra refaire l'historique de son exploration : combien de missions ont-elles été envoyées et en quelle(s) année(s)? Ont-elles toutes réussi ou y a-t-il eu des échecs ? Quels étaient les principaux objectifs scientifiques ? Combien de temps a-t-elle mis pour voyager ? De quel type s'agit-il (survol, robot...) ? Quels sont les anecdotes ou les faits marquants sur ces missions? Est-ce qu'il y a de nouvelles missions prévues dans le futur vers ces objets? Les groupes présenteront leurs recherches à l'ensemble de la classe sous la forme la plus appropriée (poster, frise, compte-rendu...).

Pour aller plus loin, les élèves pourront aussi inventer la future mission qui ira explorer leur objet (prévoir du temps, plusieurs séances). Ils pourront définir leur propres objectifs, instruments, panneaux solaires, durée et trajectoire...

b. Quelques éléments clés d'une sonde interplanétaire

La conception d'une mission spatiale se fait conjointement entre les scientifiques qui en définissent les objectifs, et les ingénieurs et techniciens qui apportent des contraintes sur la faisabilité de ces objectifs. Ils ont en charge la maîtrise d'ouvrage, dont la maîtrise d'œuvre est parfois déléguée à plusieurs entreprises spécialisées. Il y a donc synergie entre organismes de recherche, industries et agences spatiales (les principales sont la NASA côté américain, l'ESA côté européen, la JAXA pour le Japon...), réunissant de plus en plus souvent différents pays au sein d'un même projet. Une sonde transporte plusieurs instruments. Le responsable scientifique de l'un d'entre eux est le « PI », pour « Principal Investigator » ; accompagné du « co-PI ».

Une notion importante est celle de charge utile (*payload* en anglais) : elle réunit tous les instruments qui doivent réaliser les objectifs scientifiques de la mission ; par opposition à la plate-forme de l'instrument, qui contient ce qui est nécessaire à la « survie » de la sonde mais non aux objectifs scientifiques. Par exemple: les caméras, antennes, spectromètres... font partie de la charge utile ; mais le système de pointage ou bien les sources d'énergie font partie de la plate-forme.

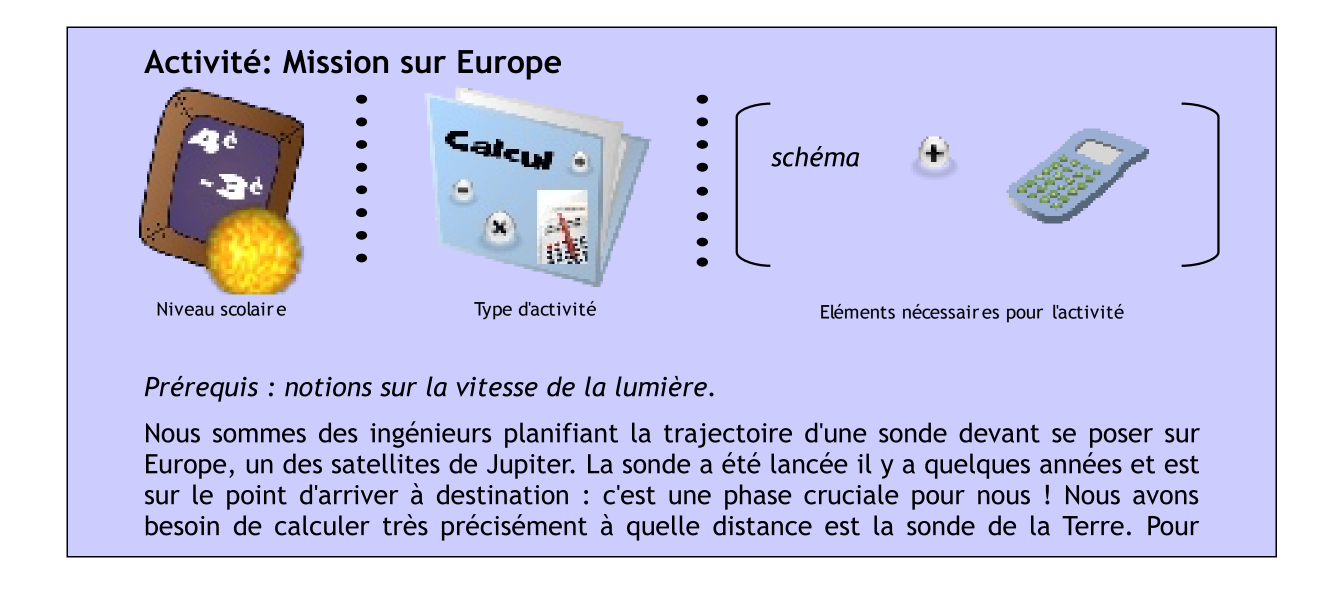
Cette charge utile doit être la plus légère possible, car la masse totale de la sonde est limitée par les capacités du lanceur et la quantité de carburant que l'on dispose: plus la sonde est massive, plus il faudra d'énergie pour la faire décoller et qu'elle s'arrache du champ de gravité terrestre ! La charge utile est donc bien souvent la contrainte la plus forte et celle définie en premier, ce qui pousse les ingénieurs à miniaturiser de plus en plus les instruments.

Ce que l'on remarque souvent est la durée très longue qu'il faut à une sonde pour atteindre sa cible et se mettre en orbite. Il y a deux raisons majeures à ces longues durées:

– bien entendu, les objets étudiés sont situés très loin, à des millions de kilomètres ;
– mais il ne faut pas aller « trop vite » non plus, car le but étant de se mettre en orbite autour d'un autre objet, la sonde doit arriver avec la bonne vitesse pour se faire capturer par l'attraction gravitationnelle de la planète. Cela est donc d'autant plus difficile que l'objet visé est de faible masse. Pour un simple survol, on peut se permettre d'avoir une grande vitesse lors du passage à proximité.

Prenons l'exemple de Messenger, une sonde lancée en 2004. Elle ne sera en orbite autour de Mercure qu'en 2011, qui n'est pourtant pas si loin: la sonde effectuera même trois survols de la planète afin de se ralentir avant sa mise en orbite.

Activité: Mission sur Europe



Prérequis : notions sur la vitesse de la lumière.

Nous sommes des ingénieurs planifiant la trajectoire d'une sonde devant se poser sur Europe, un des satellites de Jupiter. La sonde a été lancée il y a quelques années et est sur le point d'arriver à destination : c'est une phase cruciale pour nous ! Nous avons besoin de calculer très précisément à quelle distance est la sonde de la Terre. Pour

cela, nous envoyons un signal radio (les ondes radio sont des ondes lumineuses mais invisibles à nos yeux) à la sonde qui en fait l'écho aussitôt reçu : le signal nous revient sur Terre un certain temps *t* après que nous l'ayons envoyé.

Faites un schéma de la Terre, de la sonde et du signal se propageant. Rappelez quelques propriétés fondamentales de la lumière *(elle se propage en ligne droite, sa vitesse est constante et vaut 300 000 km/s)*. Le décalage entre l'envoi et la réception sur Terre du signal étant de 1h12min ; à quelle distance est la sonde *(environ 650 millions de km, ne pas oublier de diviser le temps par deux, qui est un temps d'aller-retour)*? On suppose que l'on est dans le cas où le Soleil, la Terre, Europe et Jupiter sont alignés (dans cet ordre). Calculez alors la distance Terre-Europe *(environ 627 millions de km)*. Comparez avec la distance de la sonde trouvée auparavant: qu'en concluez-vous? *La sonde est bien trop loin de sa cible, on a loupé le satellite Europe !!*

Données: distance Soleil-Terre – 150 millions de km ; Soleil-Jupiter – 778 millions de km ; Jupiter-Europe – 670 000 km.

Question subsidiaire: si au lieu d'envoyer un signal avec une antenne radio on voulait utiliser un signal sonore, combien de temps mettrait-il pour revenir sur Terre ? *Question piège bien entendu, le son ne peut pas se propager dans le vide! (programme de 4ème).*

Les sondes effectuent donc des voyages de durée très longue. Si on devait leur donner la totalité de l'énergie nécessaire à leur trajet au moment du décollage, cela nécessiterait une quantité d'énergie phénoménale ! Afin de réduire les coûts de lancement, il faut donc que la sonde bénéficie d'autres sources d'énergies une fois lancée pour, d'une part, arriver à destination, et d'autre part, faire fonctionner les instruments pendant parfois plusieurs années une fois arrivée à destination. De plus, il faut que ces sources aient une faible masse, car comme nous l'avons dit, la masse de la sonde à faire décoller est un élément critique à ne pas dépasser ! Pour cela, trois solutions :

- l'assistance gravitationnelle durant son trajet, qui consiste à venir « frôler » une planète, ce qui accélère la sonde et permet également de la faire changer de direction ;
- les panneaux solaires, qui fournissent de l'énergie à condition que l'on ne soit pas trop éloignés du Soleil ;
- enfin des batteries, parfois « classiques », parfois fonctionnant à l'énergie nucléaire : les États-Unis ont jusqu'à présent le monopole sur cette technologie qui fait controverse.

Même en disposant de toutes ces sources d'énergies, ce n'est pas encore gagné ! Un dernier moyen d'optimiser le trajet est de lancer la sonde au moment où sa trajectoire sera d'une longueur et durée optimale, selon la position relative de la Terre, des planètes autour du Soleil qui serviront d'assistance gravitationnelle et de la position de la cible. Ainsi, on définit ce qu'on appelle des « fenêtres de lancement », qui sont des courtes périodes (d'une ou deux semaines) durant lesquelles le lancement est réalisable. Si le lancement n'a pas pu avoir lieu (conditions météorologique, problèmes techniques...) durant cette fenêtre, alors il pourra être reporté de plusieurs mois, jusqu'à la prochaine fenêtre ! Par exemple, Mars étant au

plus proche de la Terre (en opposition) tous les deux ans, il y a des fenêtres optimales environ tous les deux ans : vous pouvez le remarquer en cherchant les dates de lancement des nombreuses sondes martiennes.

Activité: Réflexions sur les panneaux solaires



Prérequis : notion de propagation de la lumière.

Le but est d'étudier le rôle d'un même élément, un panneau solaire, mais à travers différentes sondes, afin de comprendre que les caractéristiques d'une sonde sont adaptées en fonction de l'objet à étudier, ici en fonction de sa distance au Soleil.

Les panneaux solaires que nous connaissons sur Terre ont été en premier développés pour le spatial, afin de fournir de l'énergie aux différents satellites de manière autonome et fiable.

On donne les dimensions d'un panneau solaire (longueur et largeur), de forme rectangulaire. Sachant que chaque sonde possède deux panneaux solaires identiques, calculer leur surface totale pour chacune des sondes. Puis, relier le nom des sondes à l'objet dont elles font l'étude (certaines sont explicites, sinon, par recherche bibliographique) et chercher leur éloignement au Soleil. Qu'en concluez-vous? (La surface des panneaux solaires est d'autant plus grande que l'éloignement de la sonde est important). On pourra tracer sur un graphique les points surface des panneaux/distance de l'objet pour les 4 sondes. Remarquez que ce n'est pas linéaire, donc pas proportionnel!

Rosetta	Mars Express	Messenger	Vénus Express	Cassini
16m ; 2m	3,2m ; 1,8m	1,65m ; 1,5m	2m ; 1,4m	Pas de panneaux solaires.

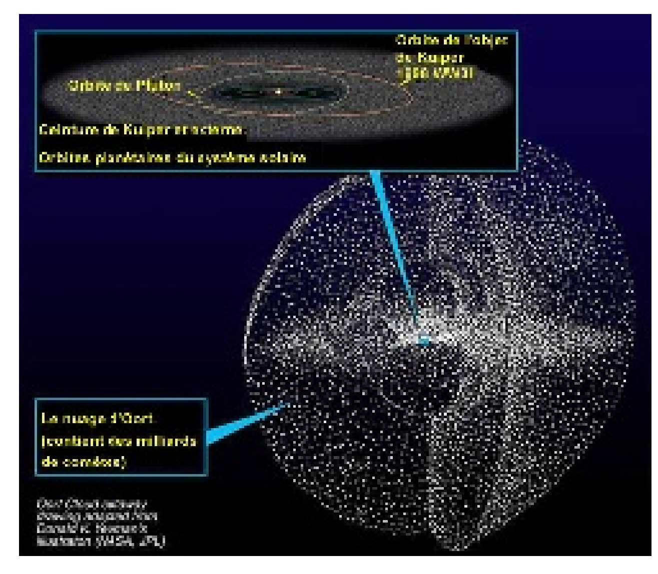
Quelques éléments à adapter selon le niveau pour l'interprétation : on peut imaginer le rayonnement émis par le Soleil comme se propageant sur une sphère qui se dilate au fur et à mesure qu'il s'éloigne dans l'espace. L'énergie par unité de surface diminue donc avec la distance (en $1/r^2$, comme la surface d'une sphère), ce qui implique que la surface des panneaux croît en r^2 (r étant la distance au Soleil).

Il se trouve que la sonde Cassini n'a pas été équipée de panneaux solaires, mais d'un réservoir d'énergie nucléaire. Pourquoi? (à une telle distance du Soleil, l'énergie solaire que l'on peut récupérer est faible, il faudrait des panneaux solaires gigantesques, donc lourds...ce n'est plus rentable en terme d'énergie!).

La sonde Messenger, très proche du Soleil, reçoit donc beaucoup d'énergie. Mais c'est aussi un désavantage, pourquoi? (la sonde doit être équipée d'un bouclier thermique pour se protéger des trop forts rayonnements).

c. Où s'arrête le système solaire, qu'y a-t-il au-delà ?

Nous voici donc à la fin de ce voyage dans le système solaire, après en avoir visité tous les objets (connus). La limite du système solaire est délicate à définir ; ce serait l'endroit où un objet ne serait plus majoritairement soumis à l'attraction gravitationnelle du Soleil, mais à celle d'une étoile voisine. Cette limite est estimée à environ trois années-lumières du Soleil !



Nuage de Oort et ceinture de Kuiper
Crédit : NASA

L'ensemble d'objets le plus éloigné du Soleil que l'on connaît, mais appartenant encore au système solaire, est le nuage de Oort. C'est un ensemble de comètes réparties dans un nuage de la forme d'une coquille sphérique (ce qui est particulièrement notable car la plupart des autres objets du système solaire orbitent dans un même plan, le plan de l'écliptique).

L'étoile la plus proche, alpha du Centaure (ce qui signifie que c'est la plus brillante étoile de la constellation du Centaure, vue depuis la Terre), est située à 4,2 années-lumières. À l'échelle de 1 milliardième à laquelle les planètes de la mallette sont représentées, il faudrait la placer à 40 000km de la Terre, soit environ un dixième de la distance Terre-Lune...!

Aujourd'hui, nous commençons à détecter d'autres planètes autour d'autres étoiles. Les techniques de détection sont telles que pour le moment nous ne détectons que les planètes les plus massives et les plus proches de leur étoile (appelées des « Jupiter chauds »), qui sont peu propices au développement de la vie. En outre, même si nous observions des traces d'activité biologique ou technologique, ces planètes sont situées tellement loin qu'il faudrait des années à un signal radio pour se propager jusqu'à la planète, sans parler du problème de puissance de ce signal !

Mais qui sait, peut-être que la génération future verra la détection de planètes habitables et peut-être habitées...

2 MOUVEMENTS ET TRAJECTOIRES

A : Introduction

a. Un peu d'histoire

Les planètes occupaient une place symbolique très importante au sein des civilisations anciennes. Les Égyptiens leur attribuaient des qualités bienfaisantes ou malfaisantes et s'en servaient pour tirer des prédictions. Chez les Chaldéens, elles présageaient les pluies, les tempêtes, les chaleurs excessives, les tremblements de Terre, etc. On s'intéressait aux planètes et à leurs mouvements pour leurs conséquences, imaginaires ou réelles, sur les hommes et leur environnement.

Il faut attendre la civilisation grecque pour qu'émergent les premières explications du mouvement des planètes, sans faire appel à des causes surnaturelles. D'après Delambre, Platon mérite d'être considéré comme le premier promoteur de l'astronomie planétaire. Les découvertes des savants grecs sont nombreuses et peuvent faire l'objet d'une recherche bibliographique.



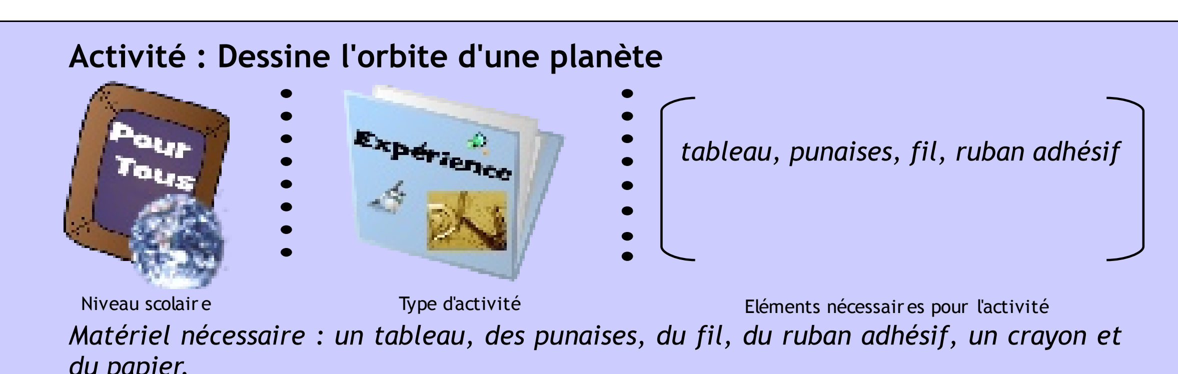
Le système de Ptolémée présente la Terre comme le centre des mouvements des planètes. Pour rendre compte de leurs mouvements apparents, il faut alors faire appel à un système complexe : les épicycles. Cette théorie dominera jusqu'au XVIème siècle !

Copernic (1473-1543) proposa alors une explication hardie, contraire aux préceptes

religieux et anthropocentriques de l'époque : les planètes tournent autour du Soleil ! Son système contenait encore quelques erreurs, dues à des idées fausses sur la mécanique : on ne concevait pas qu'un corps pût tourner autour d'un autre sans être soutenu. Galilée (1564-1642) fût conduit à écrire un livre comparant les systèmes de Copernic et de Ptolémée, les « Dialogues », pour lequel il fût condamné par le tribunal de l'inquisition en 1633. Défenseur du système de Copernic, il l'améliore en stipulant notamment le parallélisme de l'axe de la Terre lors de sa rotation autour du Soleil.

Tycho Brahé (1546-1601) proposa un système intermédiaire, où il supposa la Terre immobile au centre du monde, tout en faisant tourner les autres planètes autour du Soleil. Finalement, il appartient à Kepler (1571-1630) d'avoir établi le bon système planétaire, en s'appuyant sur les observations de Mars très précises faites par Tycho. Il écrivit alors trois lois qui portent aujourd'hui son nom, qui décrivent sans les expliquer les orbites planétaires. La première loi stipule que les planètes décrivent des orbites elliptiques dont le Soleil est un foyer. Selon la seconde loi, dite la loi des aires, la droite imaginaire reliant le Soleil à une planète balaye des aires égales en des temps égaux. Enfin, la troisième loi décrit la proportionnalité entre le carré de la période T d'un objet et le cube du demi grand axe a.

Activité : Dessine l'orbite d'une planète



Matériel nécessaire : un tableau, des punaises, du fil, du ruban adhésif, un crayon et du papier.

Coller la feuille de papier sur le tableau avec du ruban adhésif. Planter les deux punaises au centre de la feuille, un peu éloignées. Nouer le fil pour faire une boucle et attacher chacune des extrémités du fil aux punaises. Mettre le crayon dans la boucle et en tendant bien le fil, tracer une ellipse. Le Soleil est à l'emplacement de l'une des deux punaises : c'est un foyer de l'ellipse. Sur l'autre foyer il n'y a rien.

On peut séparer plusieurs groupes et leur demander de faire l'expérience avec des distances différentes entre les punaises, pour des longueurs de boucle égales. On constate alors que certaines trajectoires ressemblent plus à un cercle que d'autres. On peut alors réfléchir à pourquoi on a longtemps cru que la trajectoire des planètes étaient des cercles parfaits : les deux foyers de l'ellipse sont très rapprochés. Pour la Terre, la distance entre le Soleil et le deuxième foyer est d'environ 5 millions de kilomètres, alors que la distance Terre-Soleil est de 150 millions de kilomètres.

Isaac Newton (1643-1727), père de la physique moderne, développe alors la théorie de la gravitation universelle, selon laquelle tous les corps massifs s'attirent entre eux, avec une force inversement proportionnelle au carré de leur distance. À partir de cette théorie formelle, il a pu redémontrer les trois lois observationelles de Kepler, et

montre ainsi que le monde céleste est régi par les mêmes lois que le monde terrestre.

Activité : Un avant goût de la troisième loi de Kepler



Une personne, jouant le rôle du Soleil, prend un élève par les mains et le fait tourner autour de lui (il joue le rôle de la planète). L'élève se rend compte qu'une force s'exerce vers l'extérieur, c'est la force centrifuge. Il y a pourtant quelque chose qui le retient de partir vers l'extérieur : il est attaché au Soleil par ses bras. La force exercée par ses bras contrebalance exactement la force centrifuge (principe d'action-réaction). Dans le cas des planètes, c'est la force de gravitation qui joue le rôle des bras.

Si on fait tourner l'élève plus vite, il se rend compte qu'une plus grande force s'exerce sur ses bras, car la force centrifuge est plus grande. Pour les planètes, c'est pareil, plus elles tournent vite et plus la force centrifuge qui s'exerce sur elles est grande, et donc il faut que la force de gravitation qui la contrebalance soit plus grande. Comme la force de gravitation est inversement proportionnelle à la distance, cela veut aussi dire qu'il faut que la planète soit plus proche du Soleil. Conclusion : plus une planète est proche du Soleil et plus elle tourne vite !

Avec la théorie de Newton débuta l'âge d'or de la mécanique céleste, dont le point culminant fût la découverte de Neptune grâce au calcul par Urbain Le Verrier (1811-1877). On comprenait alors presque tout des mouvements des planètes, mais le mouvement de Mercure ne pouvait être expliqué par la théorie newtonienne. On prédit d'abord l'existence d'une planète placée entre le Soleil et Mercure : Vulcain. Elle ne fût jamais observée. C'est Albert Einstein (1879-1955) qui résolut le problème grâce à une nouvelle théorie de la gravitation : la Relativité Générale. Dans cette théorie, la gravitation n'est plus vue comme une force mais comme une propriété de l'espace-temps lui-même : la matière/énergie courbe l'espace-temps et la courbure de l'espace-temps influe sur la dynamique de la matière/énergie. Cependant, la théorie de la Relativité Générale, qui contient la théorie newtonienne, n'est pas nécessaire pour expliquer la grande majorité des mouvements dans le système solaire.

b. À l'origine des mouvements: la naissance du système solaire

Il est admis aujourd'hui que les planètes du système solaire se sont formées par condensation d'un nuage de gaz et de poussière, en rotation autour du Soleil. Ce modèle de formation a été proposé indépendamment par Kant (1724-1804) et par Laplace (1749-1827). Il rend compte des nombreuses caractéristiques du système solaire, parmi lesquelles on peut citer :

- les orbites coplanaires et quasi-circulaires des planètes;
- les planètes intérieures sont rocheuses, alors que les planètes extérieures sont gazeuses;
- la présence et la dynamique des astéroïdes, et des objets de Kuiper;
- la présence et l'âge des cratères sur de nombreux corps.

Le système solaire est très vieux : environ cinq milliards d'années. Les planètes se sont formées très tôt et très vite par comparaison : en l'espace de quelques centaines de millions d'années. Les formations du Soleil et des planètes sont intimement liées, et les détails de l'histoire n'ont pas tous été résolus aujourd'hui. On se contentera ici d'en résumer les grandes lignes. Le Soleil s'est formé dans une nébuleuse, un nuage de gaz – principalement d'hydrogène – et de poussière. Une partie de la nébuleuse s'est effondrée sur elle-même, et en son centre s'est créé le Soleil. Autour se forme alors le nuage proto-planétaire, fait du gaz et de la poussière présents dans le nuage initial. Du fait de sa rotation initiale, le nuage proto-planétaire est aplati. C'est dans ce nuage en rotation que les planètes vont « prendre forme ».

Les grains de poussières présents dans le nuage proto-planétaire ont une taille inférieure au micromètre. Ils croissent d'abord par condensation – les molécules du gaz se « collent » aux grains lors des collisions – atteignant très rapidement des tailles centimétriques. Près du Soleil, les métaux se condensent les premiers ; plus loin, les roches s'ajoutent aux métaux. Enfin, au delà d'une certaine limite, les glaces se condensent : c'est la « ligne des glaces ». La quantité de solide disponible par rapport au gaz est donc plus élevé loin du Soleil. Cela a une importance dans la formation des planètes gazeuses.

En frottant contre le gaz, les grains sont freinés et tombent dans le plan du disque proto-planétaire. Ce faisant, les plus gros grains, plus rapides, accrètent les plus petits, qui tombent plus lents. Des corps de plusieurs dizaines de mètres se forment. Au départ, le disque de gaz et de poussières est très épais (supérieure à la distance Terre-Soleil). A la fin de cette phase d'accrétion, le disque de poussière n'a plus que quelques kilomètres d'épaisseur !

Il se forme ensuite les planétésimaux, d'une taille supérieure au kilomètre. Cette étape est sujette à débat aujourd'hui. Un mécanisme propose que la matière puisse être accumulée au sein de tourbillons pour former les planétésimaux. Phobos, un satellite de Mars, est probablement un bon exemple de planétésimal. A ce stade l'accrétion s'emballe : c'est l' « effet boule de neige ». Un corps se met à balayer toute la matière environnante, et grossit beaucoup plus vite que les autres : il devient une protoplanète. La croissance de ce corps s'arrête lorsque la zone accessible à son attraction gravitationnelle est vide de matière. Le corps a « nettoyé » son environnement orbital[4]. Près du Soleil, la taille des protoplanètes est inférieure à celle de la lune. Au-delà de la limite des glaces, la matière disponible étant plus importante, des protoplanètes d'une dizaine de masses terrestres apparaissent.

4 C'est un concept fondamental dans la dernière définition d'une planète donnée en 2006 par l'Union Astronomique Internationale.

Jupiter se forme très tôt dans l'histoire du système solaire. Lorsque la protoplanète atteint environ dix masses terrestres, le gaz alentour est capté et la planète gazeuse géante se forme, en moins d'un million d'années. Après cette période le Soleil atteint une phase violente : un vent solaire intense balaye le système solaire et vide le milieu interplanétaire. Saturne est formée lorsque le gaz est partiellement dissipé, et Uranus et Neptune se forment encore plus tard. Cela explique les grandes différences de masse entre ces planètes : Jupiter fait plus de 300 fois la masse de la Terre, alors qu'Uranus et Neptune font environ 15 fois la masse de la Terre, étant essentiellement constituées de leur noyaux de glace.

Les planètes telluriques se forment beaucoup plus lentement, en 10 à 100 millions d'années. Près du Soleil, la phase d'emballement se termine avec une centaine d'embryons de la taille de Mercure. Les collisions entre ces planétésimaux aboutissent à la formation des quatre planètes telluriques. Une fois formées, ces planètes continuent à subir le bombardement de planétésimaux. Ceux qui viennent du système solaire extérieur leur apportent de l'eau et des éléments volatils, ce qui forme en partie leur atmosphère. La collision d'un corps de la taille de Mars avec la Terre est peut être à l'origine de la formation de la Lune : la matière arrachée par la collision, en orbite autour de la Terre, aurait formé la Lune par accrétion.

Beaucoup de planétésimaux, dont les orbites sont perturbées par les planètes géantes, sont éjectes du plan de l'écliptique : ils forment le nuage de Oort, à la limite du système solaire. D'autres planétésimaux (dont l'orbite est non perturbée) situés au delà de l'orbite de Neptune forment la ceinture de Kuiper, dont Pluton fait partie.

B : Les mouvements dans le système solaire

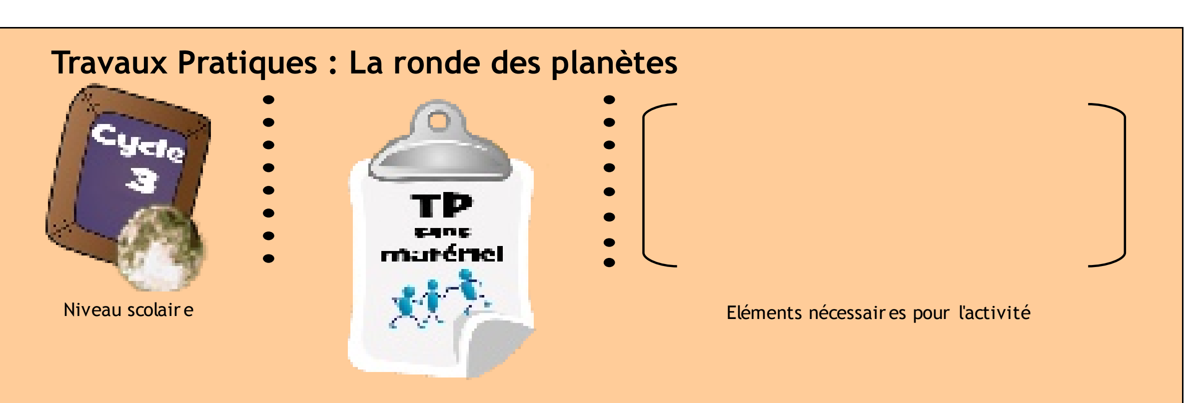
***But** : avoir une vision extérieure du système solaire, dans laquelle les mouvements sont simples à décrire ; aborder la notion de référentiel.*

a. Autour du Soleil

Les planètes tournent toutes autour du Soleil, avec des périodes de révolution qui dépendent de leur distance par rapport au Soleil : c'est la troisième loi de Kepler (voir l'activité « Un avant goût de la troisième loi de Kepler »). Les activités présentées ici donnent une vision extérieure et héliocentrique du système solaire. C'est le plus simple des référentiels pour représenter les mouvements des planètes.

L'objectif pédagogique des activités est donc de donner une vision simple des mouvements, pour apprendre que tous les corps du système solaire tournent autour du Soleil, et se rendre compte que plus ils sont éloignés, plus leur période de révolution est grande. Pour cela on dispose de plusieurs outils : les élèves, qui peuvent « mimer » les planètes, les planétaires géant et miniature, et le logiciel Celestia.

Travaux Pratiques : La ronde des planètes



La ronde des planètes est une activité qui consiste à reconstituer le système solaire à échelle humaine, en remplaçant les objets par des enfants. Une fois placés, les enfants, représentant une planète ou un petit corps, pourront graviter autour du Soleil, tout en tournant sur eux-mêmes, illustrant ainsi le mouvement des objets de notre système solaire.

Activité : Le mouvement des planètes avec le planetica



On peut faire passer le planétaire miniature, le *planetica*, parmi les élèves, pour qu'ils se rendent compte du mouvement des planètes sur une année. Les distances entre les planètes ne sont pas respectées dans ce planétaire, mais leur ordre par rapport au Soleil l'est. En tournant le capot on fait avancer ou reculer la date. Une petite fenêtre dans le planétaire indique l'année. Le cercle extérieur indique le jour et le mois, qui sont indiqués par une petite flèche. Un tour de cadran correspond à une année terrestre, c'est-à-dire à une révolution de la Terre autour du Soleil.

A première vue, en tournant un peu le cadran, on se rend compte que plus la planète est proche du Soleil et plus elle tourne rapidement. On voit les planètes telluriques bouger, mais pas ou peu les planètes gazeuses. Cela signifie que les périodes de révolution des planètes gazeuses sont beaucoup plus grandes que celles des planètes telluriques.

Pour aller plus loin (collège)

Un bon exercice est de relever le mouvement des planètes lors d'une révolution de la Terre autour du Soleil, c'est-à-dire un tour de cadran. En une année, Mercure fait environ quatre tours, Vénus un tour et demi, et Mars un demi tour ; cela donne des périodes de révolution respectivement d'environ 90 jours terrestres, 240 jours et deux ans (c'est un peu moins, 690 jours, pour Mars).

Attention : le planetica est fragile, et il n'est pas conseillé de faire plusieurs tours à la suite...

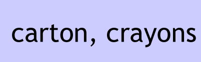
Activité : Construire un planétaire géant



Niveau scolaire



Type d'activité



Eléments nécessaires pour l'activité

On peut faire construire aux élèves leur propre planétaire. Un moyen simple est de découper des disques dans des feuilles de cartons, les tailles des disques étant proportionnelles aux distances entre les planètes. On pourra prendre par exemple 5 cm pour 1 unité astronomique (= 150 millions de km, la distance Terre-Soleil). Le diamètre du disque de Mercure fait alors 2 cm et celui de Saturne 1 mètre. Il faut ajouter un carton un peu plus grand pour dessiner les douze secteurs des constellations du zodiaque, et le point vernal (voir le gabarit donné dans la mallette).

Une méthode moins coûteuse en carton consiste à reproduire le gabarit donné dans la mallette, et fabriquer un système de planètes avec des tiges et une attache centrale.

Activité : Le mouvement des planètes avec le planétaire géant





Type d'activité

planétaire géant de la mallette

Eléments nécessaires pour l'activité

Le mouvement des planètes avec le planétaire géant est beaucoup plus visible pour toute la classe. On peut aussi faire fabriquer à plusieurs groupes leur propre planétaire (activité précédente). Connaissant la position des planètes à une date donnée, on veut connaître leur position une année terrestre plus tard, connaissant leur période de révolution. Pour cela il faut comprendre que 1 année terrestre = 365 jours terrestres correspondent à un tour de la Terre autour du Soleil, c'est-à-dire 360 degrés. La Terre tourne donc d'environ 1 degré par jour autour du Soleil.

La période de révolution de Jupiter est de 12 ans, elle tourne donc de 360 / 12 = 30 degrés en une année terrestre. On peut placer la planète en reportent cet angle à l'aide d'un rapporteur. La période de révolution de Mercure est de 88 jours terrestres, ce qui correspond à 0,24 année terrestre. En une année terrestre, elle tourne donc de 360 / 0,24 = 1500 degrés, c'est-à-dire quatre tours et 60 degrés.

Variante (primaire cycle 3)

En primaire, il est préférable de ne pas utiliser le rapporteur (voir annexe 1). Par contre, on peut utiliser un gabarit. Un disque représente une année de révolution de la Terre. Jupiter va 12 fois moins vite que la Terre, il faut donc découper notre gabarit en douze parts égales. Par exemple, on peut le plier deux fois en deux, puis le diviser en trois parts égales.

Périodes de révolution des planètes (en jours ou années terrestres) : Mercure 88 jours, Vénus 225 jours, Terre 365 jours, Mars 687 jours, Jupiter 12 ans, Saturne 29 ans, Uranus 84 ans, Neptune 165 ans.

Activité : Le mouvement des planètes avec Celestia



Niveau scolaire



Type d'activité



Eléments nécessaires pour l'activité

Celestia est un outil informatique de simulation de l'univers. Il peut nous permettre de visualiser le système solaire à la façon du planétaire. Lorsque le logiciel s'ouvre, on est face à la Terre. On dessine les orbites des planètes en appuyant sur la touche du clavier « O ». On voit alors apparaître les orbites derrière la Terre. Avec la touche « Fin », on s'éloigne du système solaire jusqu'à le voir en entier sur l'écran (on se rapproche avec la touche « Home »). On voit alors le système solaire par la tranche (le plan de l'orbite terrestre est appelé le plan de l'écliptique). Il serait plus pratique de le voir de dessus. Selectionner le Soleil en cliquant dessus avec la touche gauche de la souris, et se bloquer dessus avec la touche « F ». On peut alors tourner autour en maintenant la touche droite de la souris, et en bougeant. On peut faire la même opération avec les flèches directionnelles, tout en maintenant la touche « Maj » enfoncée. Lorsque le plan de l'écliptique est vu de dessus, on voit les planètes et leur orbite. La vitesse de défilement du temps est trop faible pour les voir bouger. On peut l'accélérer avec la touche « L », jusqu'à les voir bouger de manière perceptible. En haut à droite est indiquée la date. La touche « K » permet de décélérer, « Espace » d'arrêter le temps, et « J » de le renverser. Il faut se rapprocher du Soleil pour voir les planètes telluriques, qui tournent alors beaucoup plus rapidement que les planètes gazeuses.

Pour aller plus loin : le centre de gravité du système solaire (quatrième)

Appuyer sur la touche « Echap » pour annuler la sélection du Soleil. Cliquer sur « Selectionner un objet » dans le menu « Navigation ». Une petite fenêtre s'ouvre, dans laquelle on écrit « SSB », et on confirme. On appuie sur « F » pour se bloquer sur le SSB, qui est le centre de gravité du système solaire. Ce centre de gravité n'est pas confondu avec celui du Soleil. La présence des planètes, principalement de Jupiter, fait que ce centre de gravité est situé hors du Soleil. En accélérant suffisamment le défilement du temps, et en étant assez proche, on peut voir le Soleil tourner autour du centre de gravité du système solaire. Il en fait le tour en environ 12 ans, qui est la période de révolution de Jupiter. De plus, on voit que le Soleil se déplace d'environ une fois son diamètre.

b. *D'autre mouvements*

Les planètes sont souvent accompagnées de satellites naturels. On peut en distinguer deux types : les satellites réguliers et les irréguliers.

Les satellites réguliers ont une orbite circulaire, tournent dans le même sens que le

sens de rotation de la planète (orbite directe), et sont dans le plan de l'équateur de la planète. Ils se sont formés par accrétion dans un disque de poussière et de gaz qui tournait autour de la planète lors de sa formation, à l'image d'un système solaire en miniature dont le corps central est la planète et non le Soleil. Une fois la planète et ses satellites formés, d'autres types de disques de poussière peuvent apparaître, lorsque des corps sont capturés et réduits en poussières par les forces de marées gigantesques exercées par les planètes géantes. Ces forces sont d'autant plus grandes qu'on est proche d'elles. Un corps qui se rapproche trop est étiré et brisé si il dépasse une distance limite dite la « limite de Roche ». C'est pourquoi, proche des planètes géantes, s'il existe des disques de poussière de manière transitoire (leurs anneaux), ils ne peuvent donner lieu à la formation de satellites par accrétion. Les plus fameux sont ceux de Saturne, découverts par Galilée (1564-1642), mais les trois autres planètes géantes ont aussi des anneaux, découverts plus tardivement.

Les satellites irréguliers ont des orbites excentriques (aplaties), inclinées par rapport au plan de l'équateur de la planète, parfois rétrogrades (ils tournent dans le sens inverse du sens de rotation de la planète). Ils sont nombreux autour des planètes géantes. Ce sont des corps capturés par attraction gravitationnelle, qui proviennent probablement de la ceinture de Kuiper. Phobos et Deimos, les satellites de Mars, sont probablement des astéroïdes capturés.

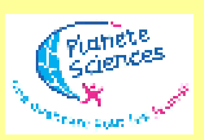
Les satellites naturels se sont donc formés comme les planètes, ou bien sont les vestiges des planétésimaux ayant formés les planètes. Ganymède, satellite de Jupiter, et Titan, satellite de Saturne, sont plus gros que la planète Mercure. Le terme satellite indique que le corps orbite autour d'une planète ou bien d'un objet plus gros que lui. On a trouvé des satellites d'astéroïdes, comme Dactyl qui orbite autour de Ida, et des satellites de planètes naines, comme Charon qui orbite autour de Pluton. Par contre on ne parle pas de satellites du Soleil... mais de planète !

Un des objectifs des activités présentées ici est de comprendre la différence entre un satellite et une planète ; c'est aussi de faire une première approche du référentiel : le mouvement d'un satellite est beaucoup plus simple quand on le considère dans un référentiel centré sur la planète autour de laquelle il tourne. Son mouvement dans le référentiel héliocentrique, centré sur le Soleil, utilisé dans la partie précédente, est plus compliqué. Enfin, pour un projet plus avancé, on pourra déterminer la masse de Jupiter grâce à l'observation de ses satellites, en utilisant la troisième loi de Kepler.

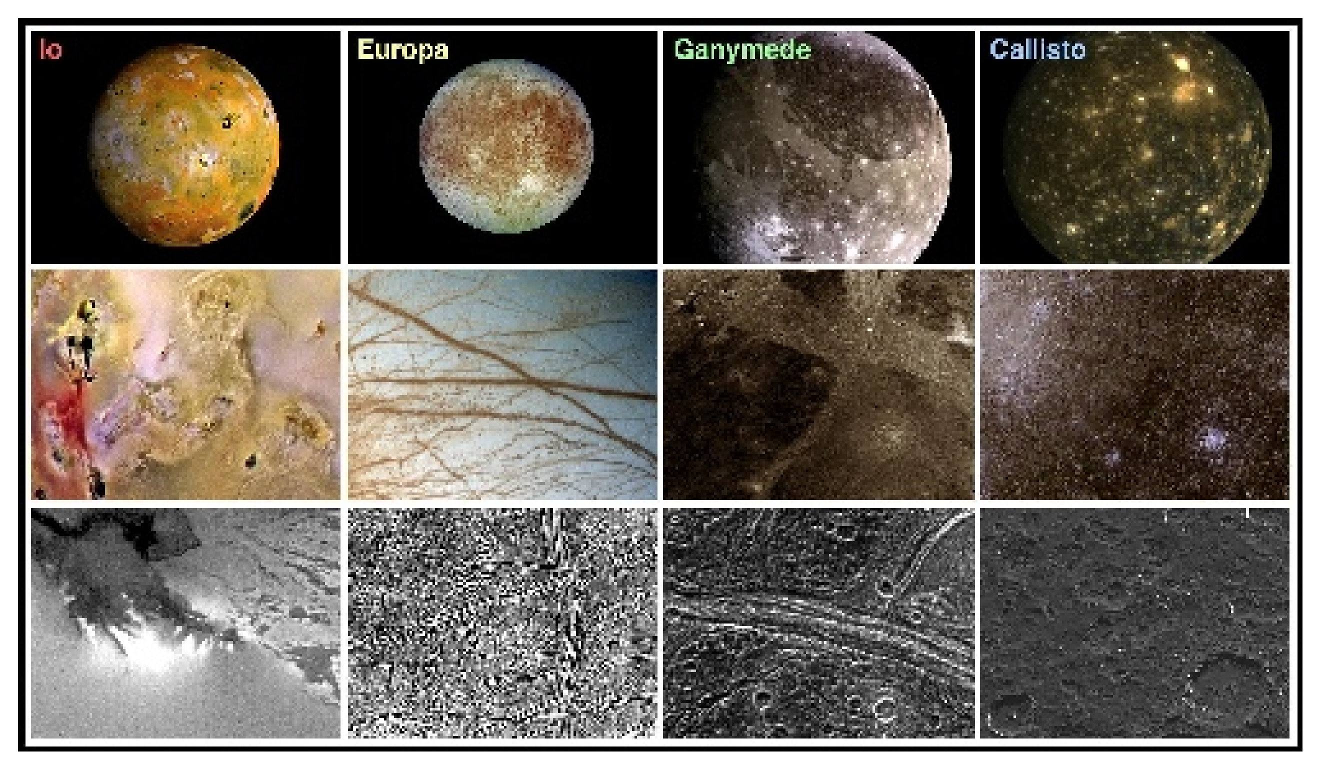
Observation : Les satellites de Jupiter

Une paire de jumelles suffit pour voir les quatre satellites principaux de Jupiter: les **satellites galiléens**, découverts par Galilée. Il est toutefois conseillé de mettre les jumelles sur un pied bien stable, car l'observation aux jumelles nécessite un peu d'entraînement pour ne pas trembler. Pour se rendre compte de leur mouvement, il faut les observer à plusieurs jours, voire à une semaine d'intervalle. Pour comparer les deux observations on peut faire un dessin ou bien prendre une photographie, si on a accès à un petit télescope. Pour savoir si Jupiter est dans le ciel le soir de l'observation, on peut regarder dans une table d'éphéméride, ou bien utiliser le logiciel *Stellarium*.

Périodes de révolution des satellites galiléens en jours terrestres : Io : 1,8 ; Europe : 3,5 ; Ganymède : 7,2 ; Callisto : 16,7.



Io est le plus proche de Jupiter des quatre satellites. C'est un corps très actif : de nombreux volcans parsèment sa surface. Les éruptions sont très violentes. L'énergie interne de Io provient des forces de marées exercées par Jupiter. Comme tous les corps actifs, il ne possède que très peu de cratères. Europe est la seconde lune galiléenne. Elle est la plus petite des quatre. Une croûte de glace recouvre entièrement sa surface. Les forces de marées déforment cette croûte, qui fond et se reforme en permanence. On voit ainsi d'immense fissures dans la glace et très peu de cratères. Des indices laissent penser qu'il y aurait un océan d'eau sous la croûte de glace. Comme l'eau est un milieu propice à l'apparition de la vie, les astrophysiciens s'intéressent beaucoup à Europe. Des projets de missions d'exploration sont prévus. Enfin viennent Ganymède et Callisto. Elles ont toutes deux une croûte de glace, très cratérisée car les forces de marées sont beaucoup moins grandes à de telles distances de Jupiter.



Détails des surfaces des quatre satellites galiléens (Crédits NASA/JPL/DLR)

Activité : Les satellites galiléens avec Celestia



Niveau scolaire



Type d'activité

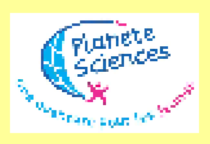


Eléments nécessaires pour l'activité

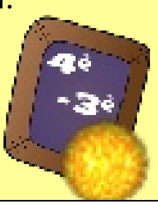
Après avoir vu les satellites de Jupiter aux jumelles, on peut aller les voir de plus près grâce au logiciel Celestia. Avant chaque action dans Celestia, il est conseillé d'appuyer sur la touche « Echap » afin d'annuler l'action précédente. Le but de cette activité est de se promener autour de Jupiter, comme si on était dans un vaisseau spatial, et d'aller visiter ses lunes. Dans le menu « Navigation / Sélectionnez un objet », taper Jupiter. Appuyer sur la touche « G » pour se rendre près de Jupiter. On peut tourner autour de Jupiter avec les flèches directionnelles, en maintenant la touche « Maj » enfoncée. Appuyer sur « O » pour faire apparaître les orbites des satellites, et tourner autour de Jupiter jusqu'à ce que le plan des principales orbites soit vu de face (on regarde alors un des pôles de Jupiter). S'éloigner avec la touche « Fin » (on se rapproche avec « Home »), jusqu'à voir les quatre satellites galiléens. Pour être sur que ce sont bien eux, on peut les sélectionner en cliquant dessus : leur nom apparaît alors en haut à gauche de l'écran. On peut accélérer le temps 10.000x avec la touche « L » pour les voir tourner autour de Jupiter. Le temps défile en haut à droite de l'écran. Pour aller visiter une des lunes de Jupiter, on la sélectionne en cliquant dessus, et on appuie sur « G » pour se rapprocher.

Observation : Déterminer la masse de Jupiter

Grâce à la troisième loi de Kepler, on peut déduire la masse de Jupiter de l'observation de ses satellites. Ce projet nécessite un télescope et un appareil photo, ou bien une caméra CCD. On prend des photos de Jupiter et de ses satellites à intervalles réguliers pendant quelques heures. Avec ces photos et un logiciel de traitement d'image, on détermine le rayon de l'orbite d'un satellite, et sa période de révolution autour de Jupiter. Il faut connaître le rayon de Jupiter pour avoir une échelle de longueur sur les photos. On peut alors déduire la masse de Jupiter avec la troisième loi de Kepler.







Activité : Changement de référentiel





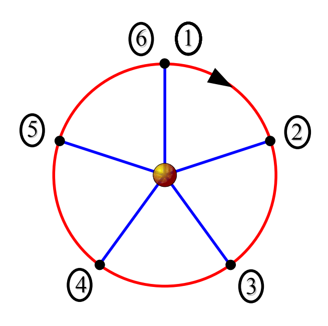
Type d'activité

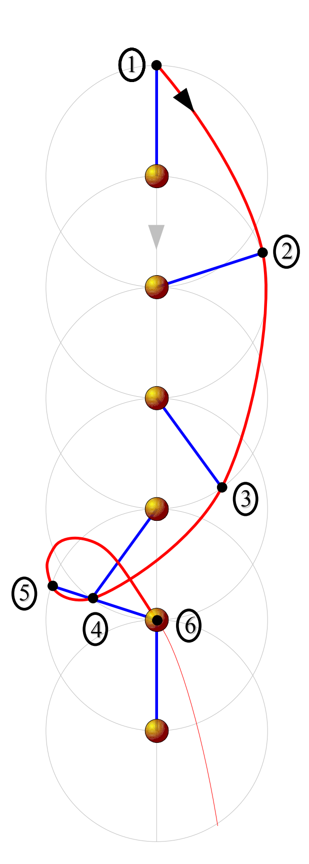
crayon, corde ou bâton

Eléments nécessaires pour l'activité

Pour une première approche du référentiel, on peut réfléchir à l'orbite d'un satellite de Jupiter. Dans le référentiel centré sur Jupiter, c'est un cercle. Dans le référentiel centré sur le Soleil (référentiel héliocentrique), il faut combiner le mouvement du satellite et celui de Jupiter qui tourne autour du Soleil. Cela donne une figure plus compliquée. On montre ainsi qu'il existe un référentiel privilégié pour étudier les mouvements des différents corps du système solaire.

Par exemple, on peut fabriquer un système de crayon attaché à un mobile par une corde ou un bâton de longueur fixe. En faisant tourner le crayon autour de l'axe du mobile, si celui-ci est immobile, cela dessine un cercle. On peut faire le même exercice en faisant bouger le mobile (à vitesse constante, en ligne droite, en cercle...) et comparer les résultats obtenus (voir figure ci-dessous)





• L'orbite du satellite dans le référentiel centré sur Jupiter est quasi-circulaire.

• L'orbite du satellite dans le référentiel héliocentrique est plus compliquée : il faut combiner le mouvement de Jupiter autour du Soleil, et celui du satellite autour de Jupiter. Dans cet exemple, on a représenté le satellite Io: lors d'une révolution de Io (1,8 jours, représenté de 1 à 6), Jupiter a parcourue environ cinq fois le rayon de l'orbite de Io.

Vitesse orbitale de Jupiter : 13 km/s. On peut représenter la trajectoire de Jupiter par une ligne droite car 1,8 jours est très petit par rapport à la période de révolution de Jupiter (12 ans)

C : Mouvements apparents et référentiels

***But** : appréhender le mouvement apparent des planètes dans le ciel ; faire le lien entre la vision extérieure et la vision locale.*

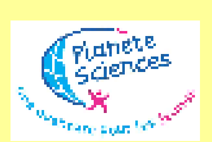
a. Les mouvements sur la voûte céleste

Nous avons vu dans le chapitre précédent le mouvement des planètes dans le référentiel héliocentrique, centré sur le Soleil. C'est une vision extérieure à la Terre. En observant les planètes depuis la Terre, leur mouvement est plus compliqué. En plus de leur révolution autour du Soleil s'ajoute une composante due au mouvement de la Terre, combinaison de sa révolution et de sa rotation.

Les activités que l'on propose ici ont plusieurs objectifs. D'abord, savoir différencier le mouvement de la voûte céleste et le mouvement des planètes par rapport aux étoiles lointaines. Ensuite, en utilisant le planétaire, de déterminer quelles planètes on peut voir dans le ciel. Enfin, pour un projet plus avancé, on pourra observer et expliquer le mouvement de rétrogradation des planètes.

Observation : Le mouvement apparent des planètes

Ce projet nécessite un appareil photo, un pied, et un logiciel de traitement d'image. Il faut repérer quelle planète on peut observer le soir de l'observation, et dans quelle constellation elle se trouve, grâce par exemple au planétaire (activité ci-dessous), ou bien avec Stellarium. Le soir de l'observation, repérer la constellation en question grâce à une carte du ciel, et prendre une photo qui contient la consetllation et la planète. Refaire la même photo quelques jours plus tard, et superposer les deux photos, en superposant les étoiles de la constellation. On se rend compte que la planète a bougé par rapport aux étoiles lointaines. On peut profiter des ces observations pour expliquer aussi le mouvement de la voûte céleste.



Pour Tous

Activité : Quelle planète observer ce soir ?



A l'aide du petit planétaire, trouver la place des planètes par rapport aux constellations du zodiaque. En tournant le capot on fait avancer ou reculer la date. Une petite fenêtre dans le planétaire indique l'année. Le cercle extérieur indique le jour et le mois, qui sont indiqués par une petite flèche. On peut reproduire la position des

planètes sur le planétaire géant pour que toute la classe puisse profiter du planétaire.

Régler le cadran horaire (placé sur la Terre) de sorte que l'heure d'observation soit en direction du Soleil (il faut mettre le temps universel TU). Les planètes observables sont celles de la moitié sud du cadran. En faisant tourner le cadran, on avance ou on recule l'heure. En avançant l'heure, on se rend compte que les planètes, comme le Soleil, se lèvent à l'est et se couchent à l'ouest. On peut donc avoir une estimation de leur heure de lever, de coucher, et de leur passage au méridien (quand elles sont le plus haut dans le ciel, dans la direction du sud).

On peut profiter de cette présentation pour expliquer ce qu'est le plan de l'écliptique : toutes les planètes tournent dans le même plan, et donc elles traversent toujours les mêmes constellations, qui sont les constellations du zodiaque. La ligne de l''écliptique est l'intersection du plan de l'écliptique avec la voûte céleste. Les planètes ne s'en écartent jamais de plus de 8 degrés.

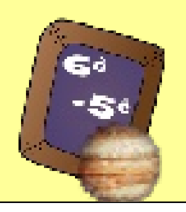
Heure d'été = Heure TU + 2 heures ; Heure d'hiver = Heure TU + 1 heure

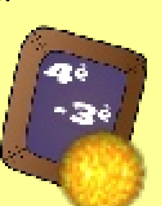
Observation : La rétrogradation de Mars

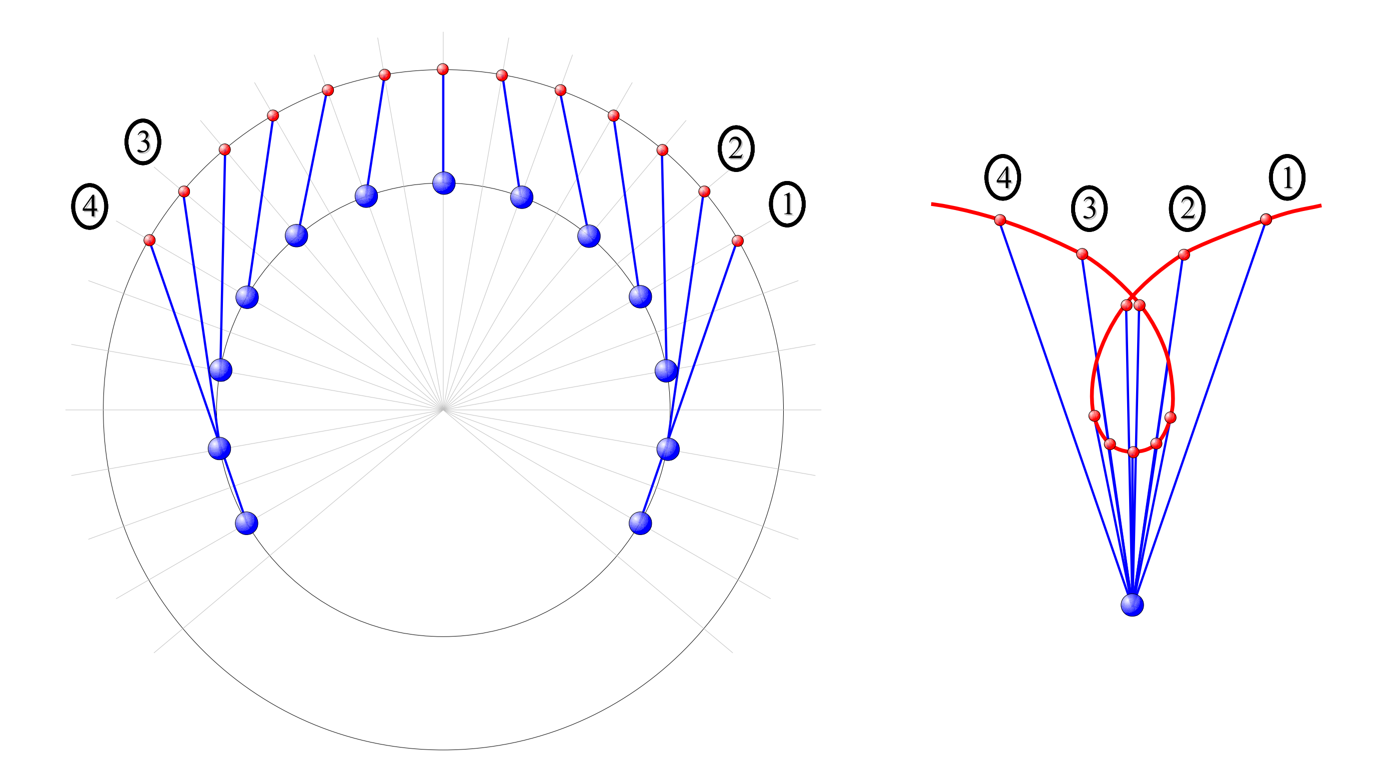
Ce projet nécessite un appareil photo, un pied, et un logiciel de traitement d'image. Il est facile à mettre en œuvre, mais se fait sur une longue durée, un peu moins d'un an. A l'aide d'éphémérides (ou de Stellarium), il faut déterminer dans quelles constellations Mars va effectuer sa rétrogradation, et choisir des étoiles de référence. Il suffit ensuite de prendre une ou deux photos par mois de Mars et des étoiles de référence dans le même champ. A l'aide d'un logiciel d'image, on peut ensuite reconstruire la course de l'astre errant parmi les étoiles lointaines. Des photos d'une trentaine de seconde suffisent, avec bien sûr l'aide d'un pied.

L'illustration ci-dessous aide à comprendre le mouvement de rétrogradation, en faisant le lien entre deux référentiels, l'un centré sur Soleil et l'autre centré sur la Terre.







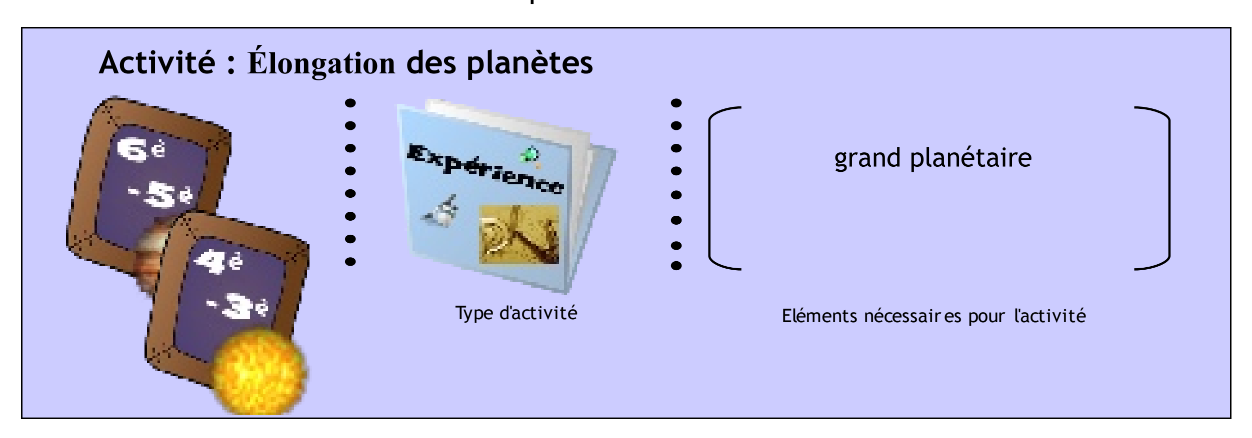


• Mouvement de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique. Les lignes bleu dénotent les positions relatives de la Terre et Mars au même instant (la vitesse angulaire de la Terre est deux fois plus grande que celle de Mars).

• Mouvement de Mars avec la Terre fixe, en ramenant toutes les lignes bleues à un même point (l'échelle est agrandie). On voit bien le mouvement de rétrogradation de Mars.

b. De la voute céleste au référentiel héliocentrique

Les activités présentées ici ont pour objectifs de relier une vision locale du système solaire (celle que l'on a sur Terre), et une vision externe (le référentiel héliocentrique). Elles sont les plus difficiles conceptuellement et supposent de bien maîtriser les notions abordées dans les activités précédentes.

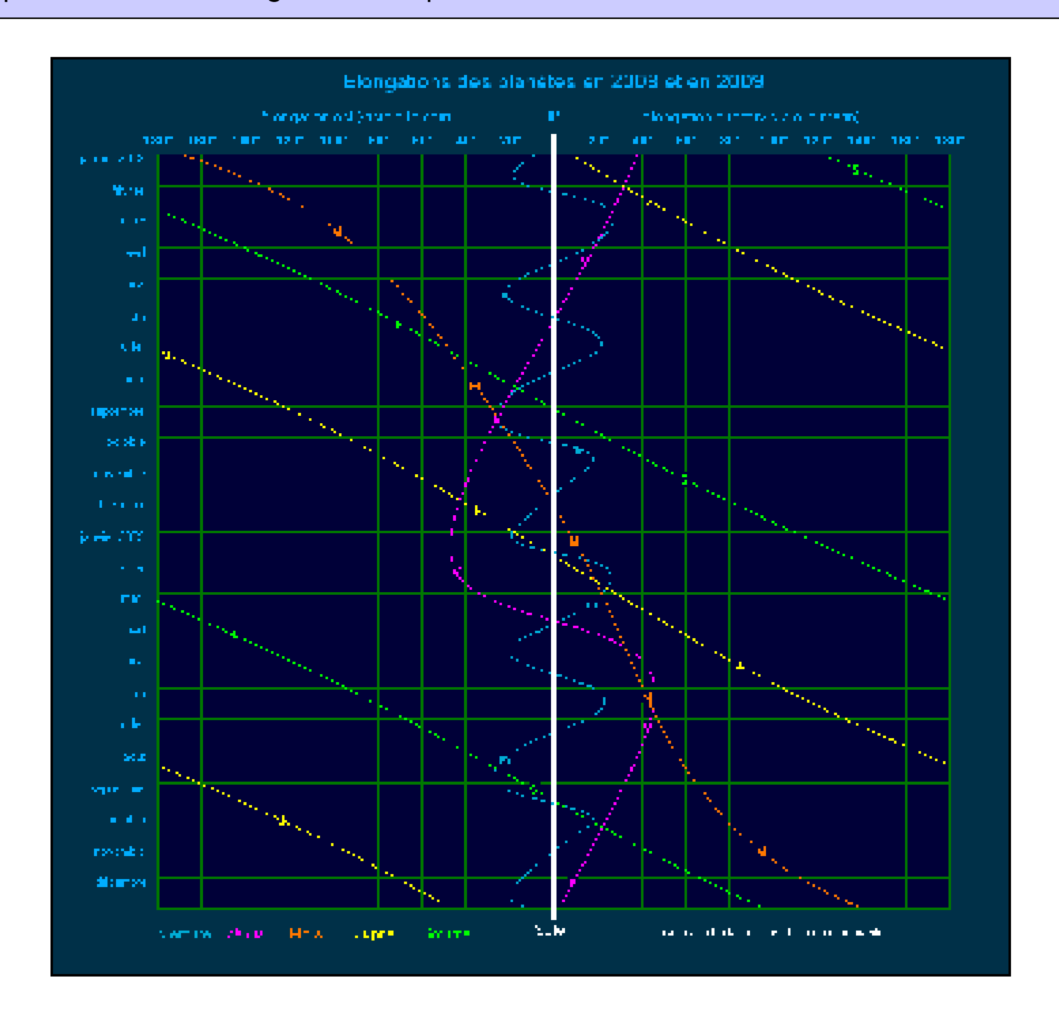


Avec le grand planétaire, on va pouvoir expliquer pourquoi on ne peut voir Mercure et Vénus que le soir ou le matin, et jamais la nuit. On peut expliquer ce qu'est l'élongation, et intrepréter les éphemérides.

Mercure et Vénus sont des planètes intérieures. Lorsqu'on veut les regarder depuis la Terre, quelque soit la configuration des planètes sur le planétaire, il y a toujours le Soleil pas loin de la ligne de visée. En prenant le gabarit des heures d'observation, on se rend compte qu'on ne peut les observer que tôt le matin, ou bien le soir. L'élongation est l'angle entre le Soleil et la planète, vu depuis la Terre. On peut derminer l'élongation maximale de Mercure et de Vénus : lorsque les trois corps forment un triangle rectangle (l'angle droit sur le Soleil). On trouve environ 20 degrés pour Mercure, et 50 degrés pour Vénus.

L'élongation des planètes extérieures va de 0 à 180 degrés. L'élongation de la planète est nulle lorsqu'elle est en conjonction : vue depuis la Terre, la planète est derrière le Soleil, et les trois corps sont alignés. L'élongation est maximale (180°) lorsque la planète est en opposition : le Soleil, la Terre et la planète sont alignés, dans cet ordre là. C'est le meilleur moment pour observer la planète car d'une part, on peut la voir presque toute la nuit, et d'autre part, elle est au plus proche de la Terre, donc son diamètre apparent est maximal.

Le graphique ci-dessous donne les élongations des planètes en 2008 et en 2009. On peut aussi les obtenir grâce à des éphémérides.



Graphique généré par le logiciel Coelix[5]

Activité : Rétrogradation des planètes

6è - 5è
4è - 3è

Expérience

Type d'activité

grand planétaire

Eléments nécessaires pour l'activité

Avec le grand planétaire, on peut expliquer la rétrogradation des planètes de façon visuelle. Par exemple, pour Mars, placer la Terre et Mars à différents instants de l'année (comme sur la figure de gauche p.50). Matérialiser les lignes bleu avec des tiges en bois, ou bien des règles en papier. Reconstituer la figure p.50 de droite à l'aide de ces règles, en conservant bien les orientations. On peut alors dessiner la trajectoire de Mars sur le support des règles en papier.

5 www.ngc7000.com/fr/coelix

ANNEXES

Comment aborder la notion d'angle en cycle 3 ?

Pour travailler la question des angles à l'école primaire en cycle 3 (CE2, CM1, CM2), il importe de rester dans le cadre des programmes officiels sans anticiper (comme cela est souvent le cas dans des manuels et dans certaines pratiques de classe) sur le programme de la classe de Sixième.

La mesure des angles en degré et l'usage du rapporteur sont HORS PROGRAMME à l'école primaire ; ces sujets constituent une part non négligeable du programme de mathématique de la classe de Sixième. Citons ici le document d'application des programmes 2007 de mathématiques pour le cycle 3[6] :

Capacités	**Commentaires**
Comparer des angles dessinés par superposition	Les activités de classement et de rangement d'angles précèdent les activités de mesurage en
Comparer des angles en utilisant un gabarit, en particulier des angles situés dans une figure (angles intérieurs d'un triangle, d'un quadrilatère...)	degrés, qui relèvent du collège. Les élèves doivent, en particulier, prendre conscience du fait que les longueurs des “côtés” n'ont aucune incidence sur le résultat de la comparaison des angles.
Reproduire un angle donné en utilisant un gabarit ou par report d'un étalon	L'usage du rapporteur gradué classique ne relève pas du cycle 3. On peut, par exemple, faire utiliser le gabarit d'un angle du triangle équilatéral pour vérifier l'égalité des trois angles de ce triangle ou encore pour faire remarquer que sa moitié est égale au tiers de l'angle droit.
Tracer un angle droit	Un pliage soigneux d'un angle droit en 2, 4 ou 3 angles égaux permet d'obtenir les angles ci-contre.
Tracer un angle égal à la moitié, le quart ou le tiers d'un angle droit	

6 Bulletin Officiel hors-série n° 5 du 12 avril 2007 (http://www.education.gouv.fr/bo/2007/hs5/default.htm)

Programmes en rapport avec l'astronomie

Cycle 3



Le ciel et la Terre

- savoir que la Terre tourne sur elle-même ;
- savoir relever la trajectoire du Soleil par rapport au sol (horizon) et savoir qu'elle peut s'interpréter par la rotation de la Terre sur elle-même ;
- savoir que la Terre et les planètes tournent autour du Soleil selon des trajectoires quasiment circulaires ;
- savoir que la Lune tourne autour de la Terre ;
- savoir que la Terre présente des phénomènes dynamiques d'origine interne (volcans et séismes).



Cinquième

- L'eau ;
- La lumière ;
- Système Soleil-Terre-Lune ;
- Phases de la Lune, éclipses.

Troisième

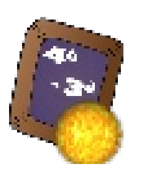
- Présentation succincte du système solaire ;
- La gravitation dans le système solaire.

Classement des activités par niveau scolaire minimum

Primaire (cycle 3) :



Début collège (6ème-5ème) :



Fin collège (4ème-3ème) :

- Le mouvement des planètes avec le planétaire géant / page 58 ;
- Changement de référentiel / page 62 ;
- Élongation des planètes / page 66 ;
- Rétrogradation des planètes / page 68.

Tous niveaux :



- Densité à l'aide des cubes de la mallette / page 20 ;
- Reproduction de planètes version modèle réduit / page 34 ;
- Reproduction à l'échelle des tailles et des distances / page 35 ;
- La météorite de Noblesville / page 41 ;
- Les missions spatiales / page 45 ;
- Dessine l'orbite d'une planète / page 53 ;
- Un avant goût de la troisième loi de Kepler / page 54 ;
- Le mouvement des planètes avec le *Planetica* / page 57 ;
- Construire un planétaire géant / page 58 ;
- Le mouvement des planètes avec *Celestia* / page 59 ;
- Les satellites galiléens avec *Celestia* / page 62 ;
- Quelle planète observer ce soir ? / page 64.

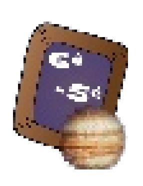
Classement des travaux pratiques par niveau scolaire minimum

Primaire (cycle 3) :



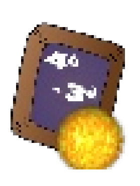
- Les cratères farineux / page 37 ;
- Modéliser un astéroïde avec de la pâte à modeler / page 40 ;
- La ronde des planètes / page 57.

Début collège ($6^{\text{ème}}$-$5^{\text{ème}}$) :



- Volcanisme dans le système solaire / page 26 ;
- Les dunes dans le système solaire / page 26 ;
- Mesurer la taille d'un cratère / page 38.

Fin collège ($4^{\text{ème}}$-$3^{\text{ème}}$) :



- Volcanisme dans le système solaire / page 26 ;
- Les dunes dans le système solaire / page 26 ;
- Mesurer la taille d'un cratère / page 38.

Tous niveaux :



- L'effet de serre et les atmosphères de Vénus, la Terre et Mars / page 27 ;
- Ombres et lumières sur les anneaux de Saturne / page 30.

Bibliographie

Auteurs	Titre	***Collection***	***Editeur***	***Parution***
E. Lellouch et A. Doressoudiram	Aux confins du système solaire	***Bibliothèque scientifique***	***Belin***	***2008***
D. Savoie	Cosmographie : Comprendre les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes		***Belin***	***2006***
J. Lilensten	Le système solaire revisité		***Eyrolles***	***2006***
Th. Encrenaz	Système solaire, systèmes stellaires	***Quai des sciences***	***Dunod***	***2005***
B. Mauquin et B. Saulier-Le Dran	Le système solaire	***Espace des sciences***	***Apogée***	***2005***
Th. Encrenaz et al.	***Le système solaire***	***Savoirs actuels***	***EDP Sciences***	***2003***
A. Brahic	*Planètes et Satellites : Cinq leçons d'astronomie*	***Sciences de l'Univers***	***Vuibert***	***2001***
A. Bracesi & al.	***Le système solaire***		***Gründ***	***2000***
D. Benest	***Les planètes***	***Points Sciences***	***Seuil***	***1998***